



Laura Meri

Kohonneet kloridipitoisuudet Nummenpää-Aakoisten ja Harjunummen pohjavesialueilla



Elinkeino-, liikenne- ja
ympäristökeskus

Laura Meri

Kohonneet kloridipitoisuudet Nummenpää–Aakoisten ja Harjunummen pohjavesialueilla

Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 32/2010

Liikennevirasto

Helsinki 2010

Kannen kuva: Laura Meri

Verkkojulkaisu pdf (www.liikennevirasto.fi)

ISSN-L 1798-6656

ISSN 1798-6664

ISBN 978-952-255-567-0

Liikennevirasto

PL 33

00521 HELSINKI

Puhelin 020 637 373

Laura Meri: Kohonneet kloridipitoisuudet Nummenpää–Aakoisten ja Harjunummen pohjavesialueilla. Liikennevirasto, tieosasto. Helsinki 2010. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 32/2010. 84 sivua ja 4 liitettä. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-255-567-0.

Avainsanat: tiesuola, pohjavesi, kloridi, reliktinen merivesi, litorinasavikot

Tiivistelmä

Pohjavesien kohonneita kloridipitoisuuksia pidetään merkinä veden likaantumisesta. Pohjavesien kloridipitoisuuksiin vaikuttavat monet tekijät, kuten tiesuolaus, kaatopaikat, jätevedet ja lannoitteet. Kloridipitoisuuksia voivat kuitenkin nostaa myös luonnolliset tekijät, kuten vanhoissa mariinisissa sedimenteissä huokosvetenä tai kallioperän raoissa oleva reliktinen merivesi.

Tässä tutkimuksessa selvitettiin kahden Lounais-Suomessa sijaitsevan pohjavesialueen, Nummenpää–Aakoisten ja Harjunummen, kloridipitoisuuksien nousun syitä. Molempien pohjavesialueiden poikki kulkee talvisuolattava tie. Alueille on myös yhteistä niiden sijoittuminen Litorinameren korkeimman rantaviivan alapuolelle, jolloin litorinasavikot voivat vaikuttaa niiden vedenlaatuun. Työn tarkoituksena oli selvittää syitä alueiden kohonneille kloridipitoisuuksille sekä tutkia keinoja erottaa eri kloridin eri lähteitä toisistaan näitä kahta aluetta keskenään vertailemalla.

Molemmilta alueilta kerättiin vesinäytteet vesien kemian selvittämiseksi sekä tehtiin maatutkaluotaukset pohjavesimuodostumien rakenteen tutkimiseksi. Tämän lisäksi molemmilta alueilta oli käytettävissä pitempiaikaista kloridiseuranta-aineistoa ja aiemmin suoritettujen kairausten tuloksia. Kloridipitoisuudet olivat molemmilla alueilla monin paikoin korkeat. Nummenpää–Aakoisissa havaittiin kohonneita pitoisuuksia etenkin tien vieressä. Kummallakin alueella havaittiin myös rannikon läheisyydestä kertovia pitoisuuksia. Ionisuhteissa havaittiin sekä savikoiden että tiesuolauksen vaikutusta. Molemmilla alueilla tiesuolan pääsy pohjavesiin on mahdollista.

Tehtyjen tutkimusten perusteella vaikuttaa todennäköiseltä, että tiesuolaus ja savikot vaikuttavat molemmat kummankin alueen pohjavedenlaatuun. Erityisesti ionisuhteiden käyttäminen osoittautui hyväksi apuvälineeksi. Tutkimuksessa havaittiin kuitenkin, että näiden kahden lähteen erottaminen toisistaan on haasteellista ja etenkin kemiallisen aineiston tulkintaa vaikeuttavat monet tekijät, kuten savikoissa aktiivisesti tapahtuvat ioninvaihtoreaktiot.

Laura Meri: Förhöjda kloridhalter i grundvattenområdena Nummenpää–Aakoinen och Harjunummi. Trafikverket, vägavdelningen. Helsingfors 2010. Trafikverkets undersökningar och utredningar 32/2010. 84 sidor och 4 bilagor. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-255-567-0.

Nyckelord: vägsalt, grundvatten, klorid, relikthavsvatten, lermarker från litorinatiden

Sammandrag

Förhöjda kloridhalter i grundvattnen anses vara ett tecken på förorenat vatten. Kloridhalterna i grundvattnen påverkas av många faktorer, som vägsaltning, avstjäpningsplatser, avloppsvatten och gödslingsmedel. Naturliga faktorer, som t.ex. relikthavsvatten som förekommer som porvatten i gamla marinavlagringar eller finns i sprickor i berggrunden, kan emellertid också höja kloridhalterna.

I den här studien undersöktes orsakerna till de förhöjda kloridhalterna i två grundvattenområden i Sydvästra Finland, Nummenpää–Aakoinen och Harjunummi. Genom båda grundvattenområdena går en väg som saltas om vintrarna. Gemensamt för områdena är att de är belägna nedanför Litorinahavets högsta strandlinje, vilket innebär att lermarkerna från litorinatiden kan påverka deras vattenkvalitet. Avsikten med detta arbete var att ta reda på orsakerna till de förhöjda kloridhalterna i områdena samt att undersöka de olika metoderna för att separera källorna till de olika kloriderna genom att jämföra dessa två områden med varandra.

Det togs vattenprover från båda områdena för att utreda vattnens kemi och dessutom gjordes landradarlodningar för att undersöka grundvattenformationernas sammansättning. Dessutom fanns det för bägge områden kloriduppföljningsmaterial från en längre tid tillbaka och resultat från tidigare borrhningar att tillgå. I båda områdena var kloridhalterna ställvis höga. I Nummenpää–Aakoinen upptäcktes förhöjda halter i synnerhet bredvid vägen. I bägge områden upptäcktes också halter som vittnade om närheten till kusten. I jonförhållandena märktes också såväl lermarkernas som vägsaltningens inverkan. I båda områdena är det möjligt att vägsalt har hamnat i grundvattnet.

På basis av de utförda undersökningarna verkar det sannolikt att både vägsaltningen och lermarkerna inverkar på grundvattenskvaliteten i båda områden. I synnerhet användningen av jonförhållanden visade sig vara ett bra hjälpmedel. I undersökningen visade det sig emellertid att det är utmanande att separera dessa två källor från varandra och att många faktorer, som t.ex. jonbytesreaktionerna som aktivt pågår i lermarker, försvårar tolkningen av i synnerhet det kemiska materialet.

Laura Meri: Increased levels of chloride in the groundwater areas of Nummenpää–Aakoinen and Harjunummi. Finnish Transport Agency, Road Department. Helsinki 2010. Research reports of the Finnish Transport Agency 32/2010. 84 pages and 4 appendices. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-255-567-0.

Key words: road salt, groundwater, chloride, relict sea water, Litorina clay soils

Summary

Increased levels of chloride in groundwaters are considered a sign of contaminated water. Many factors, such as the salting of roads, dumps, sewage and fertilizers, influence the chloride contents in groundwaters. However, natural factors, such as relict sea water in bedrock crevices or in the form of interstitial water in old marine sediments, can also increase the chloride level.

In this survey the reasons for the increased chloride levels in two groundwater areas in south-western Finland, Nummenpää–Aakoinen and Harjunummi, were examined. A road, which is salted in the winter, leads through both of the groundwater areas. Another common factor for the two areas is that they are both situated below the highest shoreline of the Litorina Sea, which means that their water quality can be affected by the Litorina clay soils. The aim of the study was to find out the reasons for the increased chloride levels in the areas as well as to examine the methods for separating the sources of the different chlorides by comparing these two areas with each other.

Water samples were collected in both areas in order to find out the chemistry of the waters and land radar soundings were carried out in order to examine the formula of the groundwater formations. In addition there was chloride follow-up material covering a longer period of time and results from earlier borings at hand. The chloride levels were high in many places in both areas. In Nummenpää–Aakoinen increased chloride levels were found especially next to the road. The contents found in both areas also indicated the proximity to the coast. The effect of both clay soils and road salt was found in the ion ratios. In both areas it is possible that road salt has entered the groundwaters.

Based on the research carried out, it seems likely that both road salt and clay soils influence groundwater quality in both areas. Particularly the use of ion ratios turned out to be a helpful tool. However, the studies showed that it is difficult to separate these two sources from each other and that many factors, such as the ion exchange reactions that actively take place in clay soil, make the interpretation of especially the chemical material more difficult.

Esipuhe

Tämä tutkimus on luonnontieteiden kandidaatti Laura Meren opinnäytetyö Turun yliopiston Geologian laitoksen Maaperägeologian osastolle.

Työn ohjaajana on toiminut yliopisto-opettaja, FT Eila Varjo Turun yliopiston Geologian laitokselta sekä ohjausryhmä, johon ovat kuuluneet Varsinais-Suomen ELY-keskuksesta ympäristöasiantuntija Niina Jääskeläinen ja pohjavesiasiantuntija Maria Mäkinen, yhdyskuntateknikko Pekka Salo Paimion kaupungista sekä kehityspäällikkö Raija Merivirta ja hankinnan asiantuntija Anne Leppänen Liikennevirastosta. Työn on rahoittanut Liikennevirasto.

Helsingissä marraskuussa 2010

Liikennevirasto
Tieosasto

Sisällysluettelo

1	JOHDANTO	9
2	TIESUOLAN (NACL) KÄYTTÖ SUOMESSA JA SEN VAIKUTUKSET YMPÄRISTÖÖN	12
3	AINEISTO JA MENETELMÄT	15
3.1	Aluekuvaukset	15
3.1.1	Sauvon kartta-alueen geologiset pääpiirteet.....	15
3.1.2	Nummenpää-Aakoinen.....	16
3.1.3	Hinnerjoen kartta-alueen geologiset pääpiirteet	19
3.1.4	Harjunummi.....	20
3.1.5	Aiemmat pohjaveden laatuaineistot alueilta	21
3.2	Nykyisen pohjavedenlaadun selvittäminen	22
3.3	Maatutkaluotaukset.....	25
3.4	Muut aineistot.....	25
4	TULOKSET	26
4.1	Pohjavedenlaatu.....	26
4.1.1	Nummenpää-Aakoinen	26
4.1.2	Harjunummi.....	31
4.2	Maatutkaluotausten tulokset.....	35
4.2.1	Nummenpää-Aakoinen.....	35
4.2.2	Harjunummi.....	40
5	TULOSTEN TARKASTELU	45
5.1	Nummenpää-Aakoinen	45
5.1.1	Kloridiseuranta	45
5.1.2	Vertailu talousvedelle asetettuihin ohje- ja raja-arvoihin sekä alueellisiin taustapitoisuuksiin	46
5.1.3	Piperin diagrammi.....	47
5.1.4	Ionisuhteet	48
5.1.5	Alueellinen tarkastelu.....	53
5.1.6	Virhelähteitä.....	55
5.1.7	Maatutkaluotaukset/Hydraulinen yhteys	56
5.2	Harjunummi	58
5.2.1	Kloridiseuranta	58
5.2.2	Vertailu talousvedelle asetettuihin ohje- ja raja-arvoihin sekä alueellisiin taustapitoisuuksiin	58
5.2.3	Piperin diagrammi.....	59
5.2.4	Ionisuhteet	60
5.2.5	Alueellinen tarkastelu.....	64
5.2.6	Virhelähteitä.....	65
5.2.7	Maatutkaluotaukset/Hydraulinen yhteys	66
5.3	Tutkittavien pohjavesialueiden vedenlaatuun mahdollisesti vaikuttavia tekijöitä	67
5.3.1	Merellinen vaikutus rannikkoalueilla.....	67
5.3.2	Muodostuman tyyppi.....	71
5.3.3	Tiesuola ja liikenne	72
5.3.4	Muut mahdollisesti vaikuttavat tekijät.....	73

6	JOHTOPÄÄTÖKSET	75
---	----------------------	----

	LÄHDELUETTELO	79
--	---------------------	----

LIITTEET

Liite 1	Nummenpää-Aakoisten pohjavesialueella suoritettujen kairausten tulokset
Liite 2	Harjunummen pohjavesialueella suoritettujen kairausten tulokset
Liite 3	STM asetuksissa 461/2000 ja 401/2001 annetut talousveden kemialliset laatuvaatimukset ja -suositukset
Liite 4	Piperin diagrammeissa käytetty suomalainen vertailuaineisto

1 Johdanto

Tiesuolaa käytetään liukkaudentorjuntaan laajasti eri maissa (Howard ja Beck 1993, Hellstén *et al.* 2005). Suomessa käytetään tiesuolaa vuosittain noin 60 000–90 000 tonnia (Liikenneviraston tilastot). Ruotsissa puolestaan käytetään vuosittain noin 200 000–250 000 tonnia natriumkloridia (Lundmark ja Olofsson 2007) ja Kanadassa vuosittain jopa 9–10 miljoonaa tonnia natriumkloridia ja 0,3 miljoonaa tonnia kalsiumkloridia (Ramakrishna ja Viraraghavan 2005).

Tiesuolan käytöllä on ympäristövaikutuksia suolan levitessä tieltä ympäristöön ja sen vaikuttaessa kasvillisuuteen, maaperään, pintavesiin ja pohjavesiin (Viskari ja Kärenlampi 2000, Löfgren 2001, Norrström ja Bergstedt 2001, Cunningham *et al.* 2008, Lundmark ja Olofsson 2007). Tiesuolan vaikutuksia pohjavesiin on tutkittu runsaasti (mm. Soveri *et al.* 1991, Howard ja Beck 1993, Hänninen *et al.* 1994, Lundmark ja Olofsson 2007, Meriano *et al.* 2009). Useissa tutkimuksissa on havaittu kasvava trendi pohjavesien kloridipitoisuuksissa (mm. Howard 1998, Nystén 1998). Esimerkiksi Howardin ja Beckin (1993) mukaan Kanadassa tiesuolaus muodostaa paikoin jo uhan Toronton alueen pohjaveden juomakelpoisuudelle.

Kloridit ovat kemiallisesti konservatiivisia (eli eivät reaktiivisia) ja mobiileja ja niitä on perinteisesti pidetty pohjaveden likaantumisen ensimmäisenä indikaattorina (Howard 1985). Luonnossa ei juuri tapahdu kloridin rikastumisreaktioita, joten pohjavesissä oleva kloridi on aina peräisin jostakin (Howard ja Beck 1993). Mahdollisia kloridin lähteitä ovat tiesuolan lisäksi esimerkiksi kaatopaikat ja kotitalousjätteet, kotitalouksien jätevedet, lannoitteet ja lantakasat (Howard 1985, Howard ja Beck 1993). Lisäksi suola voi olla peräisin vanhoista mariinisista sedimenteistä tai reliktisestä merivedestä (Howard ja Beck 1993, Olofsson ja Sandström 1998, Olofsson ja Gontier 2002).

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää kahden erilaisen akviferin kohonneiden kloridipitoisuuksien syitä. Tutkimuksen kohteena oli kaksi Lounais-Suomen alueella sijaitsevaa pohjavesialuetta. Toinen pohjavesialueista on Paimion ja Sauvon kuntien alueella sijaitseva Nummenpää–Aakoisten pohjavesialue, joka on ollut Turun tiepiirin ja sittemmin Varsinais-Suomen elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskuksen (Varsinais-Suomen ELY-keskus) liikenne- ja infrastruktuurivastuualueen kloridiseurantakohteena vuodesta 1990 lähtien (Tiehallinto 2010). Toinen tutkimuksen kohteena olleista alueista on Euran kunnassa sijaitseva Harjunummen pohjavesialue, joka on ollut kloridiseurantakohteena vuodesta 1994 lähtien (Tiehallinto 2010).

Tiehallinnossa on 1990-luvulta alkaen oltu tietoisia tiesuolauksen aiheuttamista pohjavesiriskeistä ja tuolloin kehitettiin mm. Tierekisteri Tielaitoksen ja Suomen ympäristökeskuksen yhteistyönä (Tielaitos, Suomen ympäristökeskus 1997). Sittemmin riskialteimmat pohjavesialueet ovat olleet tieviranomaisen aktiivisessa seurannassa. Varsinais-Suomen ELY-keskuksen liikenne ja infrastruktuuri -vastuualueen toimesta Euran Harjunummen pohjavesialueella seurataan yhtä pohjavesiputkea. Nummenpää–Aakoisten pohjavesialueella seurataan yhtä havaintoputkea sekä molempia alueella sijaitsevia vedenottamoita.

Nummenpää–Aakoisten pohjavesialueen läpi kulkee noin 2,1 kilometrin matkalta pohjois-etelä-suunnassa, pohjavesimuodostumaan nähdessä pitkittäin talvisuolauksen piirissä oleva tie (maantie 181). Harjunummen läpi kulkee noin 0,4 kilometrin matkal-

ta koillis-lounaissaunnassa, pohjavesimuodostumaan nähden poikittain talvisuolatava tie (kantatie 43), jolle on toteutettu pohjavesisuojaus vuonna 2008 (Tiehallinto 2009). Molemmilla pohjavesialueilla on huomioitava myös Litorinamerivaiheen aikana muodostuneiden savikoiden mahdollinen vaikutus pohjaveden laatuun, sillä ne ovat kumpikin olleet lähes kokonaan meriveden peittäminä Litorinamerivaiheen aikana (Kielosto *et al.* 2003, Kielosto *et al.* 2008). Kloridipitoisuudet ovat Turun tiepiirin seurannassa olleet vuonna 2009 Nummenpää–Aakoisten pohjavesialueella välillä 34–67 mg/l ja Harjunummen pohjavesialueella vuonna 2008 82 mg/l (Tiehallinto 2010).

Suomessa talousveden kloridipitoisuudelle on asetettu 250 mg/l laatusuositus (Sosiaali- ja terveysministeriön asetus 461/2000) sekä pienille yksiköille (otto alle 10 m³/d tai alle 50 hengelle vettä toimittava laitos sekä talousvesikaivot) 100 mg/l laatusuositus (Sosiaali- ja terveysministeriön asetus 401/2001). Molemmissa asetuksissa on myös lisähuomautuksena, ettei vesi saa olla syövyttävää ja että vesijohtomateriaalien syöpymisen ehkäisemiseksi kloridipitoisuuden tulisi olla alle 25 mg/l. Suomen lainsäädännössä on myös ehdoton pohjavesien pilaamiskielto (Ympäristönsuojelulaki 4.2.2000/86, 8§), jonka mukaan ainetta tai energiaa ei saa panna tai johtaa sellaiseen paikkaan tai käsitellä siten, että tärkeällä tai muulla vedenhankintakäyttöön soveltuvalla pohjavesialueella pohjavesi voi käydä terveydelle vaaralliseksi tai sen laatu muutoin olennaisesti huonontua.

Tämän lisäksi on huomioitava uudet vesienhoitosuunnitelmat, joiden tavoitteena on turvata EU:n vesipolitiikan puitedirektiivin (2000/60/EY) mukaisesti pinta- ja pohjavesien hyvä tila vuoteen 2015 mennessä. Tämän myötä myös asetuksessa vesienhoidon järjestämisestä on määritetty pohjavettä pilaavat aineet ja niiden ympäristölaatu-normit, joka kloridin osalta on 25 mg/l (Valtioneuvoston asetus 341/2009). Jatko-toimenpiteiden takia on myös selvitettävä pohjaveden suolaantumisen syy.

Tiesuolan pohjavesihaittojen ehkäisemiseksi käytetään suolauksen vähentämistä mahdollisuuksien mukaan sekä pohjavesisuojausten rakentamista ja uusimpana ratkaisuna vaihtoehtoisia liukkaudentorjunta-aineita (Hellstén *et al.* 2005). Pohjavesisuojausten rakentaminen on kuitenkin hyvin kallista, joten on oleellista selvittää suolaantumisen syy.

Kloridin lähteen selvittämiseksi kummaltakin pohjavesialueelta otettiin pohjavesinäytteet kaikista mahdollisista havaintoputkista sekä ottamoilta. Näytteistä määritettiin pH, sähkönjohtavuus, alkaliteetti, kokonaiskovuus, sameus, NO₂, NO₃, Fe, Na, Ca, Mg, F, Cl, SO₄, I ja Br. Kalium jäi erehdyksessä määrittämättä. Näytteenottoon käytettiin aiemmin Turun tiepiirin toimesta kloridiseuranta varten alueelle asennettuja pohjavesiputkia sekä pohjavesiputkia, jotka asennettiin projektin puitteissa aiemmin. Tämä tutkimus toimi aiemman työn jatkona, joten uusia pohjavesiputkia ei enää asennettu. Uusien analyysien lisäksi materiaalina on käytetty Varsinais-Suomen ELY-keskuksen liikenne ja infrastruktuuri -vastualueen seuranta-aineistoja. Molemmilla pohjavesialueilla suoritettiin myös maatulkuotaukset pohjavesimuodostumien rakenteen selvittämiseksi. Apuna luotausten tulkinnessa käytettiin kairaus-, koepumpaus- ja pinnankorkeustietoja vedenottamojen perustamisen ja tienparannusprojektien sekä pohjavesialueiden suojelusuunnitelmien tekemisen yhteydessä suoritetuista tutkimuksista.

Pohjaveden suolaantumisen syiden selvittämisessä pää- ja hivenionianalyysijä on pidetty hyvänä lähestymistapana. Howard ja Beck (1993) selvittivät tutkimuksessaan tiesuolan, lannoitteiden, lantakasojen, jätevesien, kaatopaikkojen suotovesien, vanho-

jen suolaisten kalliopohjavesien ja luonnostaan hieman suolaisten pohjavesien kemiallista koostumusta sopivien erottamisparametrien etsimiseksi. Myös useissa muissa tutkimuksissa on pyritty etsimään sopivia parametreja eri kloridin lähteiden selvittämiseksi ja näiden perusteella tässä tutkimuksessa valittiin määritettäväksi tavallisimmin käytettyjen vedenlaatuparametrien lisäksi jodi, fluori ja bromi (Lloyd *et al.* 1982, Howard ja Lloyd 1983, Howard ja Beck 1993, Howard ja Beck 1986, Olofsson ja Gontier 2002). Kemiallisten analyysien lisäksi tutkimusmenetelmäksi valittiin maatutkaluotaus, joka on hyvin yleinen menetelmä pohjavesimuodostumien rakenteen selvittämisessä (Olofsson *et al.* 2006).

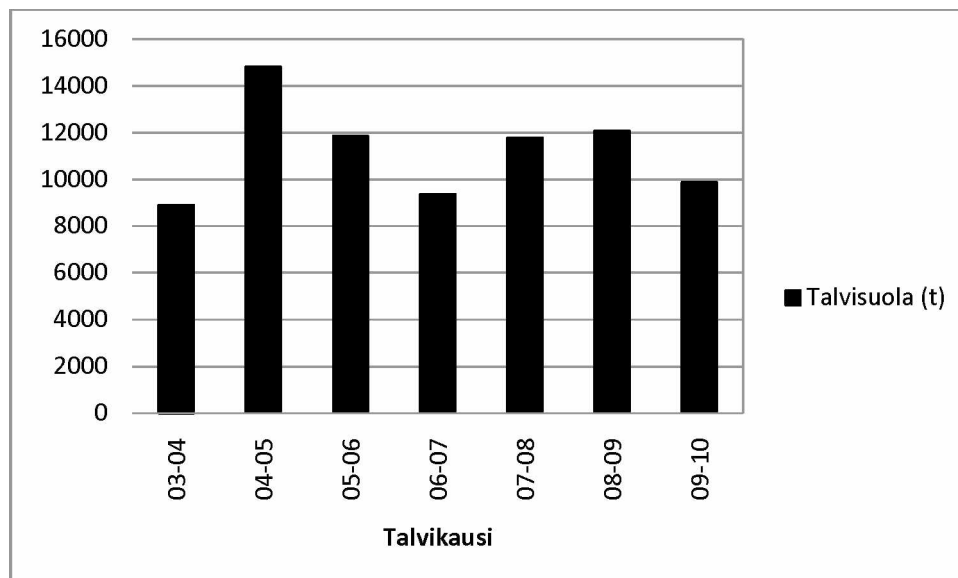
Harjunummen ja Nummenpää–Aakoisten pohjavesialueet valittiin projektiin niiden yhtäläisyyksien ja erojen johdosta, jotta saataisiin kattavampi kuva pohjavesiin vaikuttavista tekijöistä. Harjunummen pohjavesialue on muodostumatyypiltään harju, kun taas Nummenpää–Aakoisten pohjavesialue on muodostunut rantakerrostumaan. Toisaalta molemmille pohjavesialueille on yhteistä mahdollinen Litorinamerivaiheen aikana muodostuneiden savikoiden suolaava vaikutus sekä niiden poikki kulkeva tiesuolauksen piiriin kuuluva tie. Molemmilla alueilla harjoitetaan myös maataloutta ja alueilla sijaitsee vielä jätevesihuollon ulkopuolella olevia kiinteistöjä (Turun vesi- ja ympäristöpiiri 1990, Liski ja Saarnio 1997).

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää pohjavesien suolaantumisen aiheuttajia kyseisillä pohjavesialueilla ja samalla mahdollisesti saada yleistä tietoa kemiallisten analyysien antamasta informaatiosta, kloridin luonnollisista taustapitoisuuksista ja tiesuolan osuuden selvittämisestä pohjavesien laatuun. Samalla työn oli tarkoitus toimia menetelmällisenä avauksena uudenlaiseen tutkimukseen tiesuolalle alttiilla pohjavesialueilla, joiden kloridipitoisuuksien nousun syy halutaan selvittää. Tutkimuksen tuloksista oli myös tavoitteena saada apuvälineitä esimerkiksi pohjavesisuojauskohteiden priorisointiin. Harjunummen pohjavesialueen osalta tutkimuksen tarkoituksena oli myös arvioida vuonna 2008 asennetun pohjavesisuojauksen tarpeellisuutta tiesuolauksen aiheuttamien riskien osalta.

2 Tiesuolan (NaCl) käyttö Suomessa ja sen vaikutukset ympäristöön

Tiesuolauksen käyttö on aloitettu Suomessa 1950-luvulla ja se lisääntyi nopeasti 1980-luvulle asti (Nystén ja Hänninen 1997). Tiesuolan aiheuttamaa pohjavesien suolaantumista alettiin havaita 1980-luvun lopulla ja 1990-luvulla toteutettiin Tiehallinnon, Suomen ympäristökeskuksen ja Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen toimesta lukuisia erilaisia projekteja ja selvityksiä tiesuolan vaikutusten selvittämiseksi (Nystén 1998). Näitä olivat muun muassa erilaiset mallintamistutkimukset (mm. de Coster *et al.* 1993, Niemi *et al.* 1994, Nystén *et al.* 1995), tiesuolauksen vähentämiskokeilu (Kallberg 1995), tilastollinen tarkastelu tiesuolan vaikutuksista (Hänninen *et al.* 1994) ja muut erilaiset selvitykset (mm. Soveri *et al.* 1991, Yli-Kuivila *et al.* 1993), joista suurin osa toteutettiin osana laajempaa Tiehallinnon Talvi ja tieliikenne-projektia.

Suomessa käytetään liukkaudentorjuntaan ja pölynsidontaan natriumkloridia (NaCl) ja kalsiumkloridia (CaCl₂). Talvisuolan käyttömäärät riippuvat tien talvihoitoluokituksista, jota päätettäessä huomioidaan luokkakriteerien lisäksi paikalliset olosuhteet sekä liikenteen luonne, koostumus ja laadullinen kytkentä kunnan tieverkon palvelutason (Tiehallinto 2008). Lisäksi tien nopeustaso ja talvihoidon taso sovitetaan yhteen. Tämän tutkimuksen kohteena olevista alueista Harjunummen pohjavesialueen poikki kulkeva tie kuuluu hoitoluokkaan I ja tielle on levitetty talvisuolaa keskimäärin 5,9 tonnia kilometrille vuodessa (Liikenneviraston tilastot). Nummenpää–Aakoisten pohjavesialueen poikki kulkeva tie kuuluu hoitoluokkaan IB, jolle on levitetty talvisuolaa keskimäärin 3,2 tonnia vuodessa (Liikenneviraston tilastot). Kummallakaan alueella ei Liikenneviraston tilastojen mukaan käytetä kalsiumkloridia. Hoitoluokkaan I kuuluvat tiet pidetään pääosin paljaina käyttäen tarvittaessa ennakoivaa liukkaudentorjuntaa ja hoitoluokkaan IB kuuluvat tiet hoidetaan pääosin ilman suolausta (Tiehallinto 2008). Suolausta käytetään IB luokan teillä liukkaudentorjuntaan pääosin syys- ja kevätliukkailla tai vastaavissa lämpimämmissä olosuhteissa sekä erityisissä ongelmatilanteissa. Tiesuolan käyttömäärät Varsinais-Suomen ELY-keskuksen alueella talvikausina 2003–2010 on esitetty kuvassa 1.



Kuva 1. Tiesuolan käyttömäärät talvikausittain Varsinais-Suomen ELY-keskuk-
sen alueella (lähde: Liikenneviraston tilastot).

Lundmarkin ja Olofssonin (2009) mukaan tiesuolasta noin 45 % leviää ympäristöön ilman mukana kulkeutumalla, kuten tuulen mukana ja lumiauran pölyttämänä. Noin puolet tästä määrästä jää kahden metrin ja 90 % kymmenen metrin päähän tiestä. Tiesuola imeytyy maaperään ja jää väliaikaisesti maavesivyöhykkeeseen, josta se sitten voi imeytyä pohjaveteen. Jos maaperän imeytymiskyky ylittyy lumen sulamisen aikana, voi suolapitoinen vesi kulkeutua kauemmaksi tiestä pintavaluntana. Suola voi kulkeutua myös matalien pohjavesien mukana vettä johtamattoman maakerroksen päällä horisontaalisesti pitkiäkin matkoja kauas tiestä (Pedersen ja Fostad 1996, Lundmarkin ja Olofssonin 2007 mukaan).

Tiesuolana käytettävän natriumkloridin komponenteista kloridi kulkeutuu reagoimatta maaperässä, mutta natrium osallistuu maaperän kationinvaihtoreaktioihin (Lundmark ja Olofsson 2009). Tutkimuksen mukaan 21–44 % tiesuolan natriumista absorboituu hiekkaisiin–savisiin maa-aineksiin (Howard ja Beck 1993). Se voi korvautua kalsiumilla, jonka seurauksena tiesuola nostaa myös veden kovuutta (Meriano *et al.* 2009). Maaperän kationinvaihtoreaktioiden tuloksena Merianon *et al.* (2009) tutkimusalueen vesinäytteistä 40 % oli rikastunut kalsiumista. Eri maalajien kyky varastoida suolaa maavesivyöhykkeeseen vaihtelee (Lundmark ja Olofsson 2007). Savi- ja hiekkamaat pidättävät suolaa itseensä eniten johtuen niiden suuresta vedenvarastointikykyvyydestä ja huonommasta vedenvirtauskykyvyydestä kuin karkearakeisilla aineksilla. Tutkimuksissa on havaittu suuria eroja siinä, miten nopeasti suolauksen vaikutus on nähtävissä pohjavedessä (Nystén 1998, Thunkvist 2003).

Ei ole olemassa yhtä päämekanismia, jolla suola poistuisi pintavesistä ja maanpinnasta, ja pitoisuudet voivat nousta korkeiksi (Meriano *et al.* 2009). Levitetystä suolasta 35–45 % poistuu alueelta pintavalunnan mukana kauemmaksi tiestä, ja loput kerääntyvät maa- ja pohjavesiin (Howard ja Haynes 1993). Tiesuolan poistuminen pohjavedestä ja kloridipitoisuuden palautuminen taustapitoisuuden tasolle kestää useimmiten vuosikymmeniä (Granlund ja Nystén 1998, Niemi 1998).

Tiesuolan pohjavesille aiheuttamat vaikutukset tunnetaan laajalti ongelmaksi (mm. Howard ja Beck 1993, Lundmark ja Olofsson 2007, Meriano *et al.* 2009). Pohjavesien

suolaantumisen lisäksi tiesuolat voivat mobilisoida maaperän metalleja (Bäckström *et al.* 2004) ja vaikuttaa haitallisesti maaperän ominaisuuksiin, kuten ravintokationeihin (Cunningham *et al.* 2008) sekä pienentää permeabiliteettia aiheuttaen suurentunutta maaperän erodoituvuutta ja pintavaluntaa (Ramakrishna ja Viraraghavan 2005). Tiesuola on haitallista myös esimerkiksi autoille ja betonirakenteille (Howard ja Beck 1993). Koska Suomessa vedet ovat yleensä pehmeitä ja alkaliteettiä pienä, on huomioitava myös se, että jo yli 25 mg/l kloridipitoisuus lisää metallisten vesijohtojen syöpymistä (Kujala-Räty *et al.* 1998).

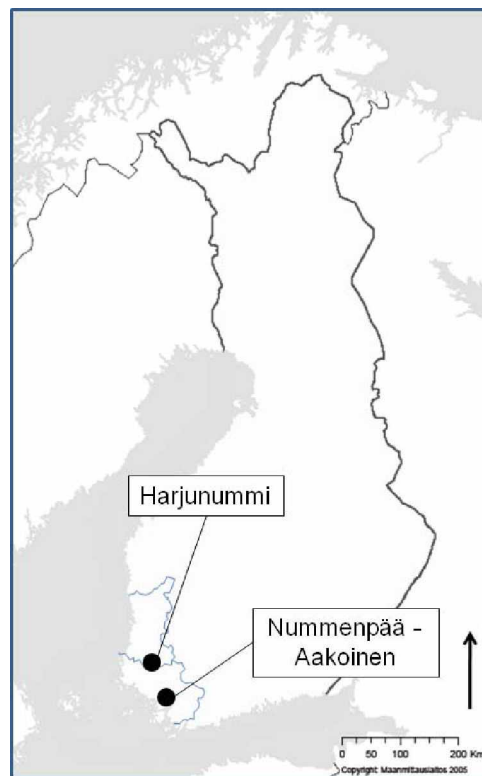
Tiesuolan aiheuttamien haittojen ehkäisemiseksi voidaan tapauskohtaisesti vähentää suolausta ja kriittisimmillä osilla jopa lopettaa suolausta tai rakentaa pohjavesisuojaus (Nystén ja Hänninen 1997). Lisäksi voidaan myös siirtyä käyttämään vaihtoehtoisia liukkaudentorjunta-aineita (Hellstén *et al.* 2005). Toimenpiteisiin on ryhdyttävä, kun suolapitoisuus nousee yli Sosiaali- ja terveysministeriön asettaman tavoitearvon 25 mg/l (Sosiaali- ja terveysministeriön asetukset 461/2000 ja 401/2001), joka on myös asetuksessa vesienhoidon järjestämisestä (Valtioneuvoston asetus 341/2009) määrätty pohjaveden ympäristölaatumormi. Suolauksen vähentämisen ja lopettamisen ongelmana on lisääntynyt onnettomuusriski (Nystén ja Hänninen 1997). Toisaalta suojausten rakentaminen on kallista ja suojaukset ovat herkkiä vaurioitumaan. Suomessa on myös toteutettu ns. MIDAS-hanke vaihtoehtoisten, vähemmän ympäristöä kuormittavien liukkaudentorjunta-aineiden etsimiseksi (Hellstén *et al.* 2004). Projekti aloitettiin vuonna 1997 ja sen osaprojekteissa vertailtiin nykyisin käytössä olevia liukkaudentorjunta-aineita sekä uusia vaihtoehtoja ja niiden kulkeutumista ja hajoaamista maasuodattimissa (Hellstén ja Nystén 2001, Hellstén *et al.* 2002). Hellstén *et al.* (2004) mukaan näiden osatutkimusten perusteella maastokokeeseen valittiin kaliumformiaatti. Tutkimuksen perusteella kaliumformiaatti ei aiheuta muutoksia pohjavedenlaatuun yhden talvikauden aikana, mutta pitempiaikaisten vaikutusten selvittämiseksi kokeilua jatkettiin MIDAS2-projektissa, josta alustavasti saatujen tietojen mukaan kaliumformiaatti soveltuisi myös pitempiaikaiseen käyttöön (Salminen *et al.* painossa).

3 Aineisto ja menetelmät

3.1 Aluekuvaukset

3.1.1 Sauvon kartta-alueen geologiset pääpiirteet

Nummenpää–Aakoisten pohjavesialue sijaitsee Sauvon kartta-alueella (karttalehti 2021 02), Varsinais-Suomessa, Sauvon ja Piikkiön kunnissa ja Paimion ja Paraisten kaupungeissa, 10–20 km Turusta kaakkoon ja Kolmannen Salpausselän reunamuodostumavyöhykkeestä noin 20 km luoteeseen (Kielosto *et al.* 2008). Nummenpää–Aakoisten pohjavesialueen sijainti on esitetty kuvassa 2.



Kuva 2. Harjunummen ja Nummenpää–Aakoisten pohjavesialueiden sijainti (pohjakartta: Maanmittauslaitos 2005).

Kieloston *et al.* (2008) laatiman maaperäkartan karttalehden 2021 02 selityksen mukaan aluetta luonnehtivat hienorakeisten maalajien alueella sijaitsevat pellot ja toisaalta kallio- ja moreenivoittoiset mäkiset metsäseudut. Alue vapautui mannerjäätikön alta vajaat 11 300 vuotta sitten ja jäi muinaisen Yoldiameren peittämäksi. Ensimmäiset maa-alueet paljastuivat veden alta Ancylusjärvivaiheen alussa. Litorinamerivaiheen aikana ranta on sijainnut noin korkeudella 47–48 m mpy, joten Litorinameri on peittänyt kaikki laajat peltoalueet ja ulottunut metsäisten kallio- moreenimäkien ylärinteille saakka.

Kartta-alueesta on avokalliota tai ohuelti moreenin peittämää kalliota noin 41 %. Kallioperä on valtaosin mikroliinigraniittia. Pinnanmuodoiltaan kallioperä on melko jyrkkäpiirteistä. Useimmat alueen kohomuodot ovat avokallioita, jotka ovat ylemmiltä osiltaan huuhtoutuneet paljaksi Ancyusjärvivaiheen aikana ja alemmilla korkeusvyöhykkeiltä Litorinamerivaiheen aikana. Kallioperässä on useita murrenvyöhykkeitä, joista suurin osa on lounas-koillisuuntaisia.

Alueen maa-alasta noin 10 % on moreenia ja yleisin moreenin kerrostumatyyppi on pohjamoreeni. Tiiviin pohjamoreenin päällä on usein ohuempi kerros löyhempää pinta-moreenia. Raekoostumukseltaan alueen moreeni on pääosin normaalikivistä hiekkamoreenia, jonka savespitoisuus on alle 5 %. Moreenikerrostumien pintaosa on usein muinaisten rantavaiheiden huuhtomaa ja roudan möyhentämää. Kartta-alueella on kahdenlaisia moreenimuodostumia, reunamuodostumia ja drumliineja. Reunamuodostumat esiintyvät alueella harvakseltaan eri puolilla, esimerkiksi Foudilan länsipuolella ja Meltolan–Nummenpään alueella. Alueen reunamoreenit ovat 1–3 metriä korkeita, 5–10 metriä leveitä ja 50–100 metriä pitkiä harjanteita. Drumliineja alueella sijaitsee Paimiosta Tammisaareen ulottuvalla vyöhykkeellä, ja ne ovat tyypiltään vastavudrumliineja.

Karkearakeisia jäätikköjokikerrostumia ja rantakerrostumia on kumpiakin kartta-alueesta noin 2 %. Jäätikköjokikerrostumat koostuvat yleensä sorasta ja hiekasta ja ne ovat tärkeitä pohjaveden muodostumisen kannalta. Lounais-Suomelle tyypillisesti alueen jäätikköjokimuodostumat eivät muodosta pitkiä harjuselänteitä, vaan sijaitsevat hajanaisesti kalliomäkien kaakkoispuolella eli suojan puolella mannerjäätikön virtaussuuntaan nähden. Näin syntyneet muodostumat ovat usein vaikeaselkoisia. Koska alue on ollut kokonaan muinaisten Itämeren vaiheiden aikana veden peittämänä, tavataan karkearakeisia maalajeja myös rantakerrostumissa. Maan noustessa merestä aallokko kulutti uusia ranta-alueita ja kerrosti huuhtoutunutta ainesta, lähinnä hiekkaa ja hietaa, maaston suojaisempiin kohtiin. Paikoin rantakerrostumat voivat koostua myös huomattavasti lajittuneista maa-aineksista, sillä osin niiden lähtöaineksenä on ollut myös moreeni. Useimmiten rantakerrostumat ovat ohuita ja sijaitsevat mäkien rinteillä tai juurilla. Rantakerrostumien syntyvän perusteella tiedetään, että niiden alla saattaa esiintyä hienorakeisia maalajeja varsinkin mäkien alarinteillä ja notkopaikoissa.

Hienorakeisia maalajeja kartta-alueella on runsaasti, vajaat 45 % maa-alasta. Suurimmaksi osaksi ne ovat savea, jota on 30 % maa-alasta. Liejusavea, jonka humuspitoisuus on 2–6 %, on vajaat 15 %. Alavien peltoalueiden tasaisilla keskustoilla hallitsevia ovat humuspitoiset litorinasavet. Vanhempia savia alkaa esiintyä laidoilla rinteiden hieman kohotessa. Lähimpänä kallion tai moreenin rajaa voi paikoin esiintyä kerrallisia savia eli lustosavia. Hienosedimenttien yhteispaksuus yltää paikoin lähes 25 metriin.

3.1.2 Nummenpää–Aakainen

Nummenpää–Aakainen sijaitsee Paimiossa Sauvon kartta-alueen koillisosassa. Nummenpään ottamo sijaitsee pohjavesialueen pohjoisosassa kallioiden mäkien länsipuolella. Pohjavesialueen läntinen puoli on lähes kokonaan peltoaluetta. Aakoiden ottamo sijaitsee hieman pohjavesialueen puolivälin eteläpuolella peltoalueella. Alue on luokiteltu luokan I pohjavesialueeksi (OIVA -ympäristö- ja paikkatietopalvelu 2010). Turun tiepiirin selvityksen mukaan kohteen riskipisteet ovat 78 pistettä ja alue on todettu kohteeksi, johon kannattaa rakentaa pohjavesisuojaus mahdollisen tien

perusparannushankkeen yhteydessä (Tiehallinto 2007). Riskipisteillä kuvataan pohjavesialueella olevien tieosuuksien aiheuttamaa pohjavesien pilaantumisriskiä, jossa suurempi luku kuvaa suurempaa riskiä (Tielaitos, Suomen ympäristökeskus 1997).

Pohjavesialueen kokonaispinta-ala on 1,60 km² ja muodostumisalueen pinta-ala 1,03 km². Sen poikki kulkee noin 2,1 kilometrin matkalta maantie 181 pohjavesimuodostumaan nähden pitkittäin, josta etäisyys Nummenpään ottamolle on noin 90 metriä (Tiehallinto 2009).

Alueella on tehty useita hydrogeologisia tutkimuksia pohjavedenottamoiden perustamisen yhteydessä (Suunnittelukeskus Oy 1979, 1981, 1982). Lisäksi tutkimuksia on tehty suojelusuunnitelman laatimiseksi (Liski ja Saarnio 1997). Nummenpään ja Aakoisten alueiden välinen pohjavesimuodostuma on pituudeltaan noin 2 kilometriä ja leveydeltään noin 200–500 metriä (Suunnittelukeskus Oy 1979). Vuonna 1980 suoritettujen Nummenpään ja Aakoisten alueiden koepumppausten perusteella Nummenpään pohjavesialueen tehokkaaksi muodostumisalueeksi on arvioitu noin 1 km² (Suunnittelukeskus Oy 1981). Tästä alueesta koepumppausten ja kairausten perusteella hiekkavaltaista maaperää on arviolta 0,35 km² ja loput pintaosistaan lajittunutta moreenia. Aakoisten alueella tehokkaan pohjavedenmuodostumisalueen laajuutta ei osattu koepumppausten jälkeen arvioida tarkasti alueen maakerrosten huonon hydraulisen yhteyden takia. Tutkimusten perusteella Nummenpään pohjavesiesiintymän keskimääräiseksi antoisuudeksi arvioitiin 500 m³/d ja Aakoisten 250 m³/d.

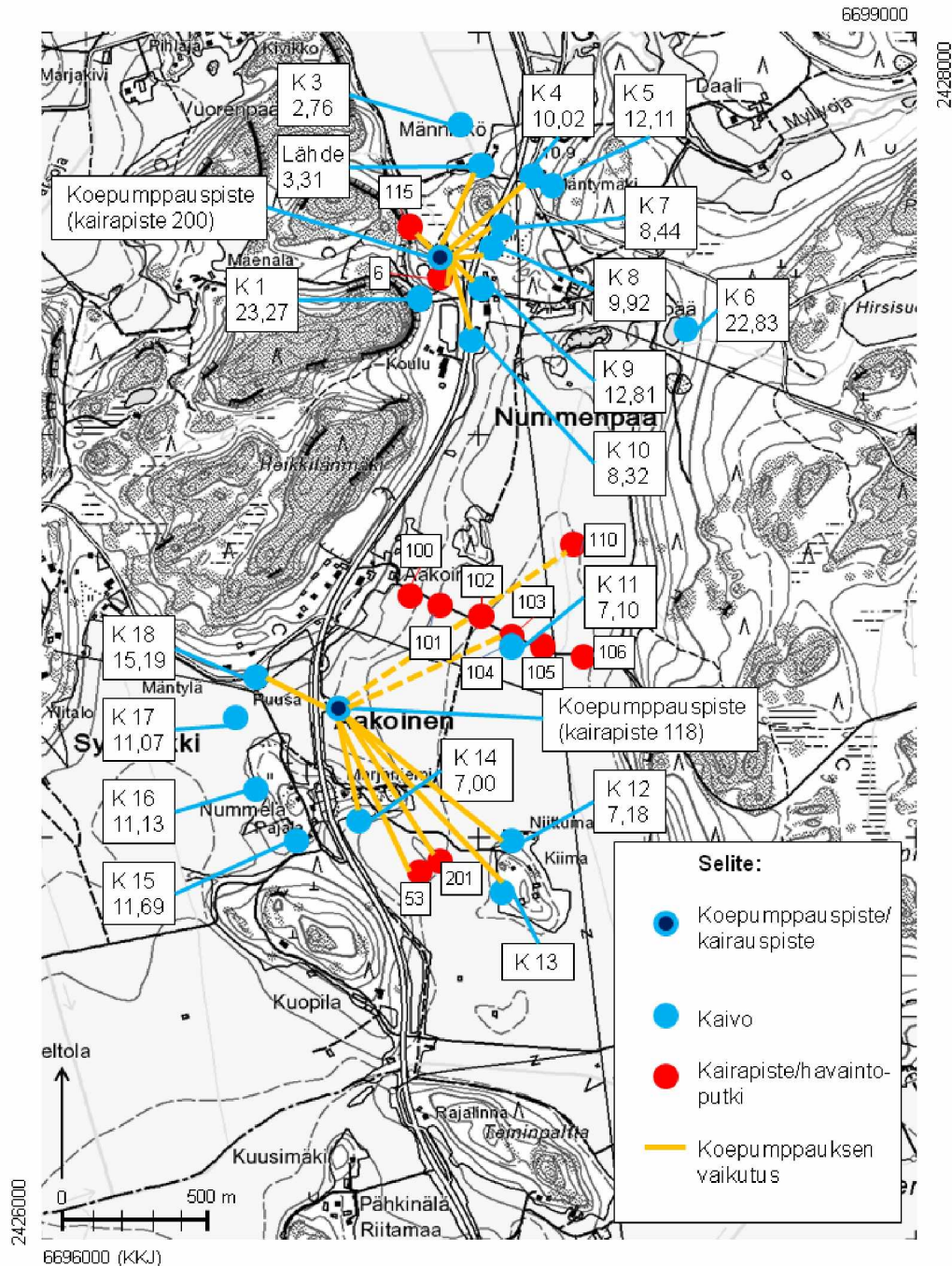
Oy Vesi-Hydro Ab 1992 Turun tiepiirin toimeksiannosta tekemän selvityksen mukaan Nummenpää–Aakoisten pohjavesiesiintymä koostuu pohjois-eteläsuuntaiseen ruhje-laaksoon ja sen länsirinteille kerrostuneista rantakerrostumatyyppisistä vettä johtavista hiekka- ja sorakerrostumista. Laaksonpainanteessa sora- ja hiekkakerrostumat ovat savikerrosten peitossa. Nummenpää–Aakoisten alueen hiekka-sorakerrostuman itäinen puoli on savikerrosten peitossa ja läntinen puoli rajoittuu paljaaksi huuhtoutuneisiin kallioalueisiin (Suunnittelukeskus Oy 1979).

Alue on todennäköisesti laaja yhtenäinen pohjavesialue lukuun ottamatta alueen pohjoisinta osaa, jonka erottanee omaksi alueekseen kalliokynnys. Pohjoisimman osan vedet purkautuvat alueen lähteistä (noin 300 m³/d). Muun alueen vedet purkautuvat laakson pohjalla olevaan ojaan tihkumalla (Liski ja Saarnio 1997).

Rantakerrostuman vettä johtavan maakerroksen pohjavedenpinnan alapuolella oleva kerrospaksuus on Suunnittelukeskus Oy:n (1979) tekemän selvityksen mukaan suurimmillaan pistevälillä 118, 105, 110 (vuoden 1973 koepumppauspiste 6) ja 115. Alueelle asennetusta havaintoputkiverkostosta tehtyjen havaintojen perusteella pohjavedenpäävirtausuunta on pisteestä 6 etelään. Tutkimusten mukaan pisteiden 6, 118 ja 53 välillä on hydraulinen yhteys. Kairauslinjan 100–106 edustamalla alueella pohjaveden virtausnopeuden arveltiin kuitenkin olevan pieni. Tarkemman kuvan saamiseksi alueella suoritettiin koepumppaukset vuonna 1980 (Suunnittelukeskus Oy 1981). Koepumppauksen teho oli Nummenpään alueella sijaitsevassa pohjavesiputkessa 864–453 m³/d ja Aakoisilla 864–260 m³/d. Pumppausten aikana seurattiin lähi-seudun kaivojen veden pinnankorkeuksia 200–600 metrin etäisyydellä pumppauspaikoista. Nummenpään koepumppauksen havaittiin mahdollisesti vaikuttavan kaivoihin 2, 4, 7, 8, 9 ja 10. Kuivan kesän johdosta ei voitu varmaksi sanoa vaikuttuko koepumppaus yksinomaan kaivojen pintojen laskuun. Lisäksi koepumppaus vaikutti havaintopisteisiin 6 ja 115. Aakoisten ottamon alueella suoritettujen koepumppauksen todettiin vaikuttavan vedenpintoihin selvimmin havaintoputkissa 118 ja 201 sekä talousvesi-

kaivoissa 12, 13, 14 ja 18. Lievempi vaikutus havaittiin havaintoputkissa 103 ja 110 sekä kaivossa 11. Koepumppauksen vaikutus ulottui pumppauspaikoilta noin 200–600 metrin etäisyydelle pääosassa koillis- ja luoteissuuntiin (kuva 3).

Aakoisten alueella vettä johtavat kerrostumat ovat suurimmaksi osaksi savikerrosten alla olevassa hiekkavaltaisessa maaperässä. Aakoisten koepumppauspaikalle ei virrannut vettä kovin nopeasti poispumpatun tilalle, joten hydrauliset yhteydet saven alla olevassa pohjavesivarastossa eivät ole koepumppauksen perusteella erityisen hyvät. Pohjavesiselvitysten yhteydessä suoritettujen kairauksen tulokset on esitetty liitteessä 1.



Kuva 3. Suoritettujen koepumppauksen vaikutus Nummenpää–Aakoisten pohjavesialueella Suunnittelukeskus Oy:n (1981) mukaan. Kaivojen pinnat ovat yksikössä metriä merenpinnan yläpuolella.

3.1.3 Hinnerjoen kartta-alueen geologiset pääpiirteet

Harjunummen pohjavesialue sijaitsee Hinnerjoen kartta-alueella (karttalehti 1133 06), Lounais-Suomessa Euran kunnan keskustasta parikymmentä kilometriä lounaaseen. Kartta-alueeseen kuuluu myös pieni osa Laitilan kaupunkia (Kielosto *et al.* 2003). Harjunummen pohjavesialueen sijainti on esitetty kuvassa 2.

Kieloston *et al.* (2003) laatiman maaperäkartan karttalehden 1133 06 selityksen mukaan Hinnerjoen kartta-alue on maastoltaan moreenivoittoista, lisäksi kallioalueita on melko runsaasti. Alueen poikki kulkee pieni katkonainen hiekkavaltainen harju luode-kaakkosuuntaisesti. Alue on vapautunut mannerjäätikön alta runsaat 11 000 vuotta sitten ja jäi kokonaan Yoldiameren peittämäksi. Ensimmäiset maa-alueet alkoivat nousta vedenpinnalle vasta Ancylusjärvivaiheen aikana. Alue on niin alavaa, että vielä Litorinamerivaiheen aikana valtaosa kartta-alueesta on ollut veden peittämänä. Litorinameren ranta on alueella ollut korkeimmillaan tasolla 64–65 m mpy.

Alueen kallioperä on rapakivigraniittia, jossa on jonkin verran katkonaisia nauhamaisia diabaasialueita. Alueen pinta-alasta noin 25 % on paljasta tai ohuelti moreenin peittämää kalliota. Kallioperän pinnanmuodot ovat melko loivapiirteisiä. Kallioperän heikkousvyöhykkeet erottuvat karttakuvassa pääosin luode-kaakko- ja koillis-lounassuuntaisina pitkänomaisina painanteina sekä jokina. Alueella tavataan myös rapakivigraniitille tyypillistä kallion päällä olevaa moroa. Sitä esiintyy yleensä maksimissaan parinkymmenen sentin paksuudelta, joskus harvoin paikallisesti metrin parin paksuudelta.

Kartta-alueen maa-alasta runsaat 36 % on moreenia, josta noin puolet hienoainesmoreenia ja noin puolet hiekkamoreenia. Moreeni on pääosin tiivistä pohjamoreenia ja se esiintyy kallion päällä ohuena, 1–4 metrin paksuisena kerroksena. Moreenin pinta on muinaisten rantavaiheiden huuhtomaa ja usein noin puolen metrin syvyyteen asti roudan möyhentämää. Hienoainesmoreeni on erittäin tiivistä, huonosti vettä läpäisevää vähäkivistä moreenia, jonka savespitoisuus on yli 5 %. Hiekkamoreeni on normaalikivistä, jonkin verran vettä läpäisevää löyhähköä rakenteetonta moreenia, jonka savespitoisuus on alle 5 %. Näiden kahden moreenityypin rajat ovat alueen maastossa hankalasti erotettavissa. Yhden metrin kartoitusyvyvyyttä syvemmällä saattaa kuitenkin olla vielä mannerjäätikön varhaisempienkin virtausvaiheiden kerroksia hienoainesmoreeneja, joiden savespitoisuus saattaa olla 13–20 %.

Kartta-alueella on yksi luode-kaakkosuuntaisena kulkeva, katkonainen harjujakso linjalla Kaunisnummi–Harjunummi–Kosonkangas–Kolmhaara. Karkearakeiset jäätikkökikerrostumat, kuten harjut, ovat tärkeitä pohjaveden muodostumisalueita. Harjun liepeillä esiintyvät myös alueen laajimmat rantakerrostumat, sillä maan noustessa vedenpinnan yläpuolelle harjujen korkeat rinteet altistuivat ensimmäisinä rantavoimille. Rantavoimat ovat huuhtoneet hienoa ainesta, kuten hiekkaa ja hietaa, korkeista paikoista ja kerrostaneet sitä suojaisiin paikkoihin. Alueella esiintyy myös paikoin sekarakeisia moreenista syntyneitä, yleensä ohuita rantakerrostumia.

Kartta-alueen pinta-alasta noin 23 % on hienorakeisia maalajeja. Ne peittävät laajalti alueen alavia maastonkohtia. Hienorakeisten maalajien raekoostumus vaihtelee hieusta saveen, joista savea on eniten. Alueelta otettujen savinäytteiden savespitoisuus on 31–55 % ja kairausten perusteella hienoainekerrostumien paksuus vaihtelee pääosin välillä 3–8 metriä ollen maksimissaan 20 metriä. Kartta-alueen maa-alasta yhteensä 12,4 % on rahka- ja saravaltaisia turpeita ja liejukerrostumia.

3.1.4 Harjunummi

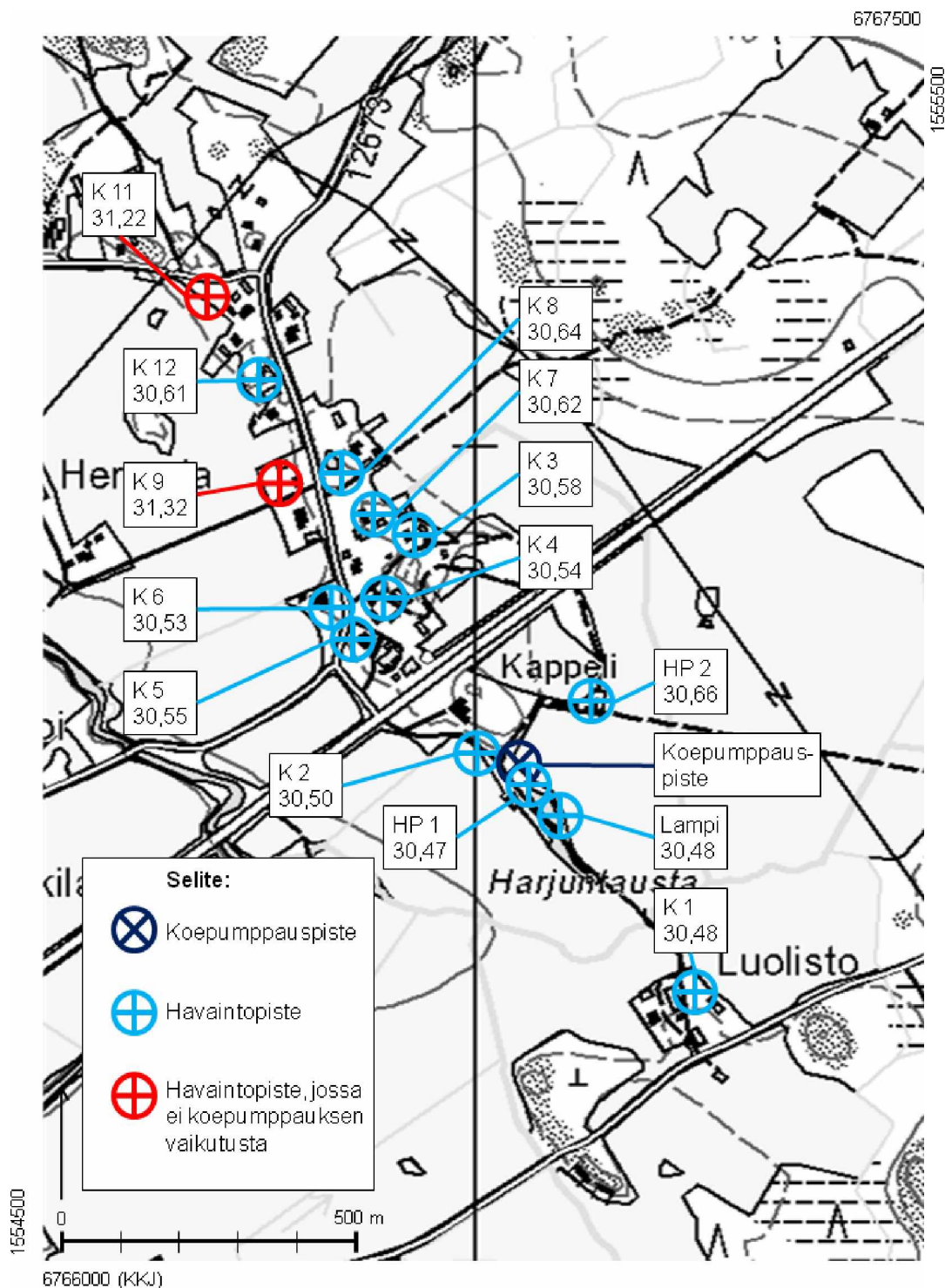
Harjunummen pohjavesialue sijaitsee Euran kunnassa melko keskellä Hinnerjoen kartta-aluetta, hieman puolivälin pohjoispuolella. Alue on määritelty luokan I pohjavesialueeksi (OIVA -ympäristö- ja paikkatietopalvelu 2010). Pohjavesialueen kokonaispinta-ala on 0,63 km² ja muodostumisalueen pinta-ala 0,33 km² (Tiehallinto 2009). Turun tiepiirin selvityksen mukaan alueen riskipisteet olivat 88 pistettä ennen vuonna 2008 toteutetun pohjavesisuojausten rakentamista (Tiehallinto 2007). Riskipisteillä kuvataan pohjavesialueella olevien tieosuuksien aiheuttamaa pohjavesien pilaantumiskäsitettä, jossa suurempi luku kuvaa suurempaa riskiä (Tielaitos ja Suomen ympäristökeskus 1997).

Harjunummen pohjavesialueen kaakkoisosan poikki kulkee noin 400 metrin matkalla kantatie 43 ja pohjavesialueen keskiosassa kulkee noin 500 metrin matkalla Surun maantie numero 12673. Muodostuman lounaispuolella virtaa 300–400 metrin etäisyydellä Hinnerjoki. Vedenottamo sijaitsee alueen kaakkoisosassa noin 150 metriä Laitila-Eura -maantiestä kaakkoon (OIVA -ympäristö- ja paikkatietopalvelu 2010).

Harjunummen pohjavesialueella tehtiin vuonna 1990 Euran ja Lapin kuntien pohjavesiselvitys ja siihen liittyen maastotutkimuksia lyöntikairauksineen ja koepumpauksineen (Turun vesi- ja ympäristöpiiri 1990). Lyöntikairauksia suoritettiin yhdeksässä pisteessä keskittyen alueen kaakkoisosaan, jonne alueelta muodostuvan pohjaveden oletettiin virtaavan. Kairausten tulokset on esitetty liitteessä 2 ja kairapisteiden sijainnit maastokarttojen yhteydessä kappaleessa 4.2.2. (kuva 29).

Tutkimusten mukaan muodostuman maakerrokset ovat alueen reuna-alueilla lähinnä hienoa, suhteellisen hyvin lajittunutta hiekkaa. Harjun ydinosa on hyvin lajittunutta karkeaa hiekkaa ja soraa eli se on hyvin vettä johtavaa aluetta. Karkeiden kerrosten alue jakaantuu luoteesta kaakkoon tullessa kahteen haaraan, jonka koillinen osa loppuu kairauspisteen P6 lähistölle. Näiden haarojen väliin jää melko hienorakeinen alue, jossa maakerrokset ovat lähinnä hienoa hiekkaa ja silttiä. Vedenpinta on alueella melko lähellä maanpintaa ja maakerrokset ovat melko paksuja, joten varastotilavuus jää kohtuullisen suureksi. Alueen luoteisosassa kallionpinta tosin nousee huomattavasti kaakkoisosaa ylemmäksi. Selvityksessä tehtyjen tutkimusten mukaan muodostuma on osa luode-kaakko-suuntaista harjua ja se rajoittuu kalliopaljastumiin ja savipeltoihin. Aines alueella on keskinkertaisesti lajittunutta soraa ja hiekkaa. Maakerrokset ovat paksuudeltaan 10–15 metriä. Muodostuma on vettä ympäristöönsä purkava ja pohjaveden virtaus suuntautuu luoteesta alueen kaakkoisosaan purkautuen alueen halki kulkevaan ojaan.

Suoritetussa koepumppauksessa pohjavedenpinta laski kaikissa muissa paitsi kaivoissa K9 ja K11, joista K9 arveltiin olevan orsivesikerroksessa ja K11 kalliokynnyksen takana. Koepumppauksen perusteella jatkuvaksi antoisuudeksi arvioitiin noin 200 m³/d. Pohjavedenpinnankorkeudet vaihtelivat tutkimushetkellä arvosta 30,47 arvoon 31,32 m mpy. Kaivojen ja muiden havaintopisteiden sijainnit sekä mitatut pinnat on esitetty kuvassa 4.



Kuva 4. Harjunummella suoritetun koepumppauksen yhteydessä mitatut pohjaveden pinnankorkeudet sekä havaintopisteiden sijainnit Liskin ja Saarnion (1997) mukaan.

3.1.5 Aiemmat pohjaveden laatuaineistot alueilta

Pohjaveden kloridipitoisuuksia on seurattu molemmilla pohjavesialueilla Turun tiepiirin ja nyttemmin Varsinais-Suomen ELY-keskuksen toimesta osana pohjavesien kloridiseurantahanketta. Nummenpää-Aakoisten pohjavesialueelta on seuranta-aineistoa

Nummenpään ottamolta vaihtelevin aikavälein vuodesta 1984 alkaen, Aakoisten ottamolta vuosilta 1994–2000 sekä vuodelta 2009 ja havaintoputkesta 103 vuodesta 1998 alkaen. Tämän lisäksi vedenlaatuaineistoa on kerätty aiemmin myös havaintoputkista 101, 102, 104, 202, 204 ja 207, sekä kaivosta 210 ja lähteestä 208. Nämä aineistot on kerätty vuosina 1998 – 2001.

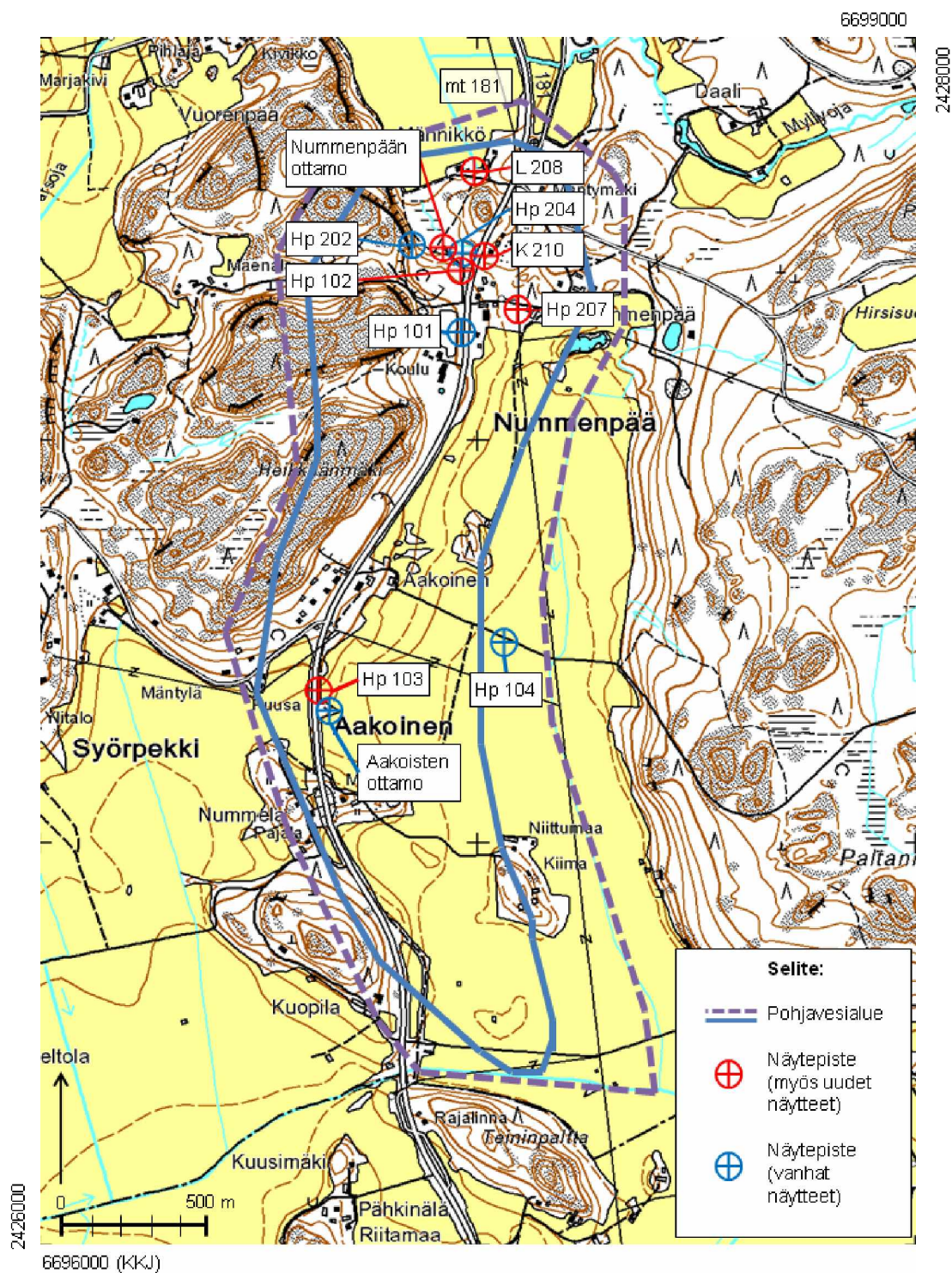
Harjunummen pohjavesialueelta on olemassa pohjaveden kloridipitoisuuksien seuranta-aineistoa havaintoputkesta 205001 (101) vuosilta 1994–2008, sekä havaintoputkesta 205002 (102) vuosilta 1994–2001. Tämän lisäksi myös havaintoputkista 205003 (103), 205004 (104) ja 205005 (105) sekä Harjunummen vedenottamolta on käytettävissä kloridiseurantahankkeen aineistoa vuosilta 1998–2001.

Pohjavesinäytteet vuosilta 1994–2001 on analysoitu silloisen Lounais-Suomen ympäristökeskuksen (nykyisin Varsinais-Suomen ELY-keskus) laboratoriossa ja näytteet on ottanut silloisen Tielaitoksen kenttähenkilökunta. Vuosina 2002–2007 näytteet on ottanut Tieliikelaitoksen henkilökunta ja näytteiden analysoinnin tehnyt pääsääntöisesti Lounais-Suomen vesi- ja ympäristötutkimus Oy. Uudemmat kloridiseuranta-näytteet on ottanut ja analysoinut Ramboll Varsinais-Suomen ELY – keskuksen toimeksiannosta.

3.2 Nykyisen pohjavedenlaadun selvittäminen

Pohjavesinäytteet kerättiin kahta näytettä lukuun ottamatta huhtikuussa 2010. Loput kaksi näytettä jouduttiin noutamaan erikseen pumpun rikkoutumisen takia touku-kuussa. Pohjavesinäytteet otettiin pohjavesiputkista mahdollisuuksien mukaan pumpulla tai, jos tämä ei onnistunut, kertakäyttönoutimella. Vettä pumpattiin noin 10 – 15 minuuttia tai kunnes vesi kirkastui. Pumppaamisen jälkeen pinnan annettiin palata alkuperäiseen korkeuteen, jonka jälkeen näyte otettiin jälleen pumpulla. Kaikkiin pohjavesiputkiin pumppu ei mahtunut, jolloin jouduttiin käyttämään kertakäyttönoudinta. Myös kaivoista näyte otettiin kertakäyttönoutimella. Ottamoilta näyte saatiin otettua hanasta tulevasta raakavedestä, jonka oli ensin annettu virrata. Kertakäyttönoutimella nostettiin pohjavesiputkesta ensin muutaman kerran vettä, jonka jälkeen pohjavedenpinnan annettiin palata ennalleen. Pohjavesinäytteet otettiin kustakin näytepisteestä kahteen näyteastiaan, 500 ml muovipulloon sekä 100 ml happopestyihin muovipulloon. 100 ml muovipulloihin otetut näytteet suodatettiin kentällä 0,45 µm kokoisella ruiskusuodattimella ja kestävästi lisäämällä 0,5 ml väkevää typpihappoa (Suprapur). Näyteastiat täytettiin mahdollisimman täyteen, jottei pulloihin jäisi ilmaa, ja suljettiin tiiviisti.

Näytteet pakattiin kylmälaukkuun ja lähetettiin samana päivänä analysoitavaksi. Näytteistä määritettiin sähkönjohtavuus, alkaliteetti, kokonaiskovuus, sameus, NO₂, NO₃, Fe, Na, Ca, Mg, F, Cl, SO₄, I ja Br. Näytteet analysoi Labtium Oy. Näytteitä pyrittiin saamaan kaikista aiemmin seurannassa mukana olleista havaintopisteistä eli Harjunummelta viidestä pohjavesiputkesta sekä ottamolta ja Nummenpää–Aakoisista molemmilta ottamoilta, yhdeksästä pohjavesiputkesta, kaivosta ja yhdestä lähteestä. Harjunummelta saatiin yhteensä viisi näytettä ja Nummenpää–Aakoisista yhteensä kuusi näytettä. Harjunummelta korvattiin yksi löytymättä jäänyt havaintoputki kaivolla, jonka oletettiin sijaintinsa perusteella toimivan hyvänä näytepisteinä taustapitoisuuden saamiseksi paikasta, johon tiesuola ei todennäköisesti enää juuri vaikuta. Nummenpää–Aakoisten pohjavesialueen näytepisteet on esitetty kuvassa 5 ja Harjunummen pohjavesialueen näytepisteet kuvassa 6.



Kuva 5. Nummenpää–Aakoisten pohjavesialueella sijaitsevat sekä uudet että vanhat näytepisteet.



Kuva 6. Harjunummen pohjavesialueella sijaitsevat sekä uudet että vanhat näytepisteet.

3.3 Maatutkaluotaukset

Maatutkan toiminta perustuu sähkömagneettisen säteilyn aalto-ominaisuuksiin, eli aallon heijastumiseen ja taittumiseen sähköisiltä ominaisuuksiltaan erilaisilta rajapinnoilta (Peltoniemi 1988). Peltoniemen (1988) mukaan maatutka lähettää valitun taajuisen radioaallon, jonka etenemiseen vaikuttavat väliaineen sähkönjohtavuus, dielektriset ominaisuudet (permittiivisyys) ja aallon taajuus. Osa maahan suunnatus- ta pulssista heijastuu dielektrisesti erilaisista rajapinnoista, osa etenee alempiin ker- roksiin samalla koko ajan vaimentuen. Koska vesipitoisuuden muutos muuttaa väliai- neen dielektrisiä ominaisuuksia, muodostuu maahan heijastava rajapinta kohtiin, joissa vesipitoisuuden muutokset ovat suuria. Maatutka läpäisee lisäksi yleensä hyvin karkeita irtomaita (Hänninen 1991). Maatutkamenetelmä soveltuu siten usein hyvin pohjavedenpinnan tutkimiseen (Hänninen 1991). Hyvin sähköä johtavia materiaaleja, kuten savea, tutka-aalto ei sen sijaan läpäise lainkaan, mikä on menetelmän tärkeä käytännöllinen rajoitus (Peltoniemi 1988).

Maatutkaluotaukset tehtiin kesäkuussa 2010. Maatutkaluotaukset suoritettiin käyttä- en laitteistoa Ramac gpr. Tuloksena saatujen linjojen käsittelyyn ja tulkintaan käytet- tiin RadExplorer-ohjelmaa. Geologian laitoksella on käytettävissä 200 ja 50 MHz:n antennit, joista valittiin 50 MHz:n antenni sen paremman syvyyssulottuvuuden johdos- ta. Varsinkin Nummenpää–Aakoisten pohjavesialueella maaston korkeuserot ovat sen verran suuria, että tarkemman tuloksen antava 200 MHz:n antennilla ei todennäköi- sesti olisi nähty pohjaveden pintaan asti. Myös Harjunummen pohjavesialueella käy- tettiin syvemmälle ulottuvaa taajuutta.

Maatutkalinjat pyrittiin valitsemaan siten, että saataisiin mahdollisimman kattava kuva pohjavesialueen rakenteesta. Erityisesti haluttiin selvittää yhteys tien ja pohja- vesialueen välillä. Käytännön syistä linjat tehtiin pääosin polkuja ja teitä pitkin vält- täen pihvoja ja viljelyksiä. Nummenpää–Aakoisten pohjavesialueella tehdyt maatutka- linjat on esitetty maatutkaluotausten tulosten yhteydessä.

3.4 Muut aineistot

Edellä mainittujen aineistojen lisäksi Nummenpää–Aakoisten alueelta on olemassa kairaustietoja Tie ja vesirakennuslaitoksen Turun tiepiirin Kemiön–Sauvon–Paimion maantien parantamisen yhteydessä tehtyjen tutkimusten pituusleikkauspiirroksissa vuodelta 1970.

4 Tulokset

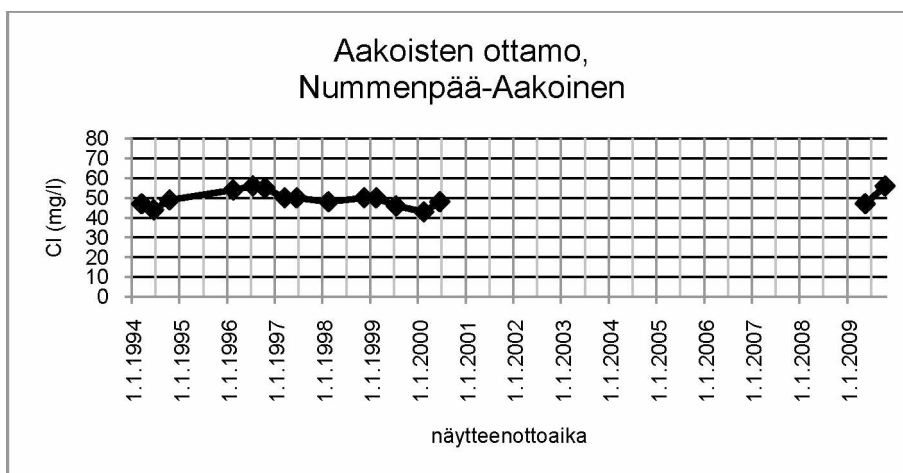
4.1 Pohjavedenlaatu

4.1.1 Nummenpää–Aakoinen

Nummenpää–Aakoisten pohjavesialueen havaintopisteiden kloridipitoisuuksien ajalliset trendit on esitetty kuvaajissa 7–17. Mittaustulokset näkyvät kuvaajissa pisteinä. Kuvaajissa on mukana myös uudet, tämän tutkimuksen yhteydessä tehdyt analyysitulokset Nummenpään ottamolta, pohjavesiputkista 102, 103 ja 207, sekä lähteestä 208 ja kaivosta 210. Kaikki uudet analyysitulokset on esitetty taulukossa 1.



Kuva 7. Nummenpään ottamon kloridipitoisuudet vuosina 1994–2010. Kuvaajaan on sovitettu myös lineaarinen trendiviiva.



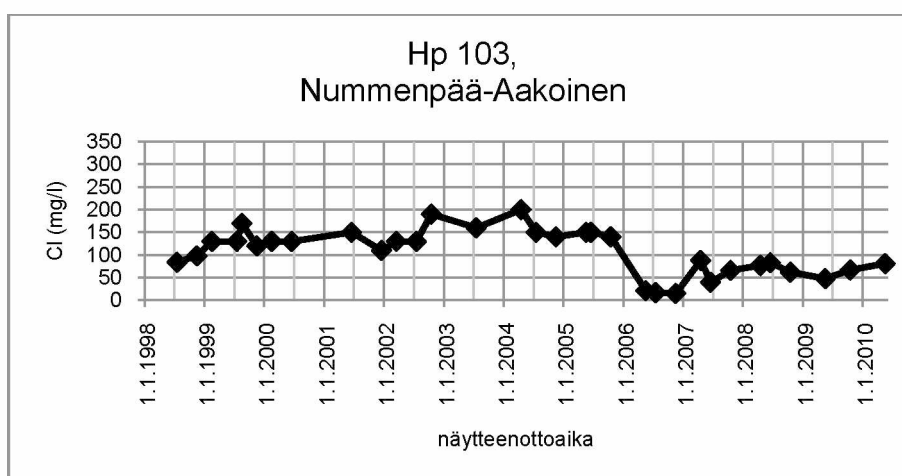
Kuva 8. Aakoisten ottamon kloridipitoisuudet vuosina 1994–2000 ja vuonna 2009.



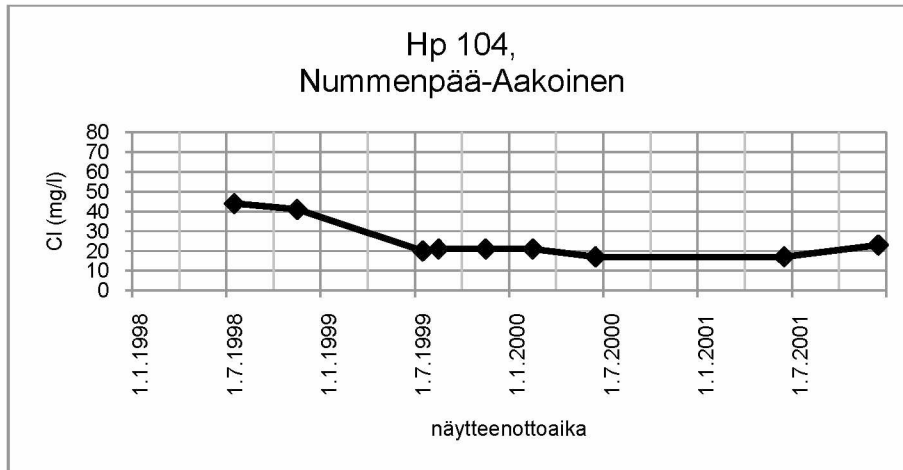
Kuva 9. Havaintoputken 101 kloridipitoisuudet vuosina 1994–2001.



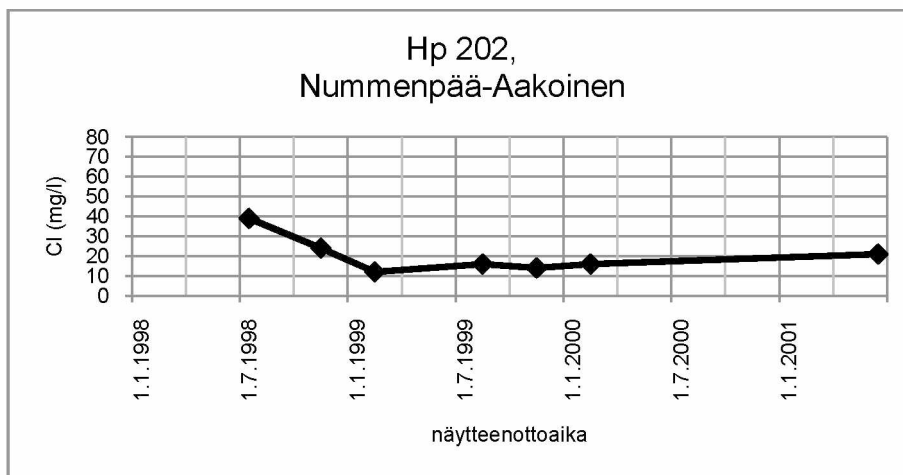
Kuva 10. Havaintoputken 102 kloridipitoisuudet vuosina 1998–2001 ja vuonna 2010.



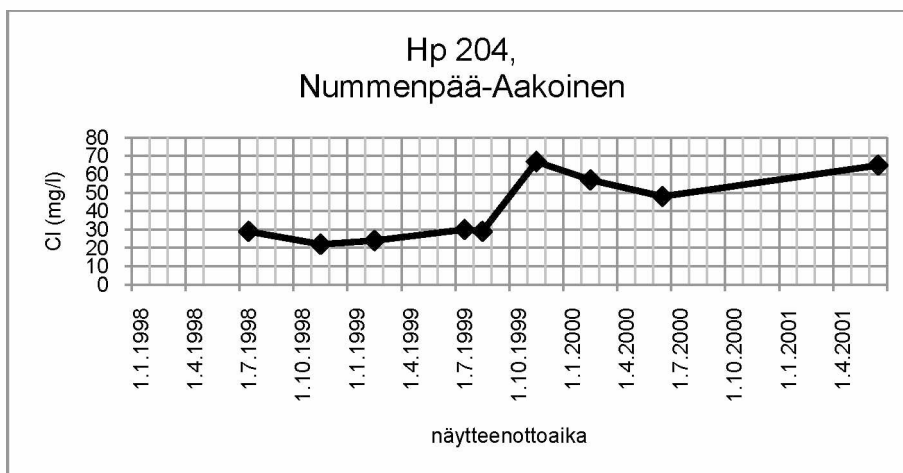
Kuva 11. Havaintopisteen 103 kloridipitoisuudet vuosina 1998–2010. Huom. y-akselin asteikkoa on skaalattu suuremmaksi kuin kuvissa 8–10 ja 12–16.



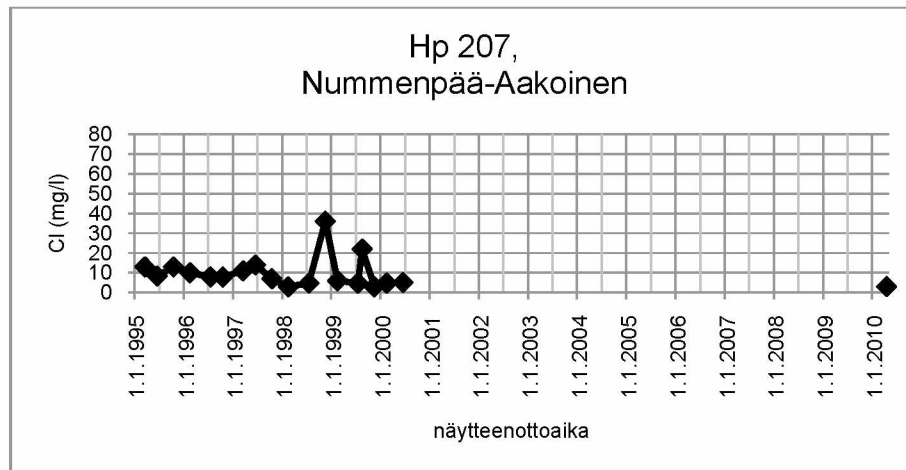
Kuva 12. Havaintopisteen 104 kloridipitoisuudet vuosina 1998–2001.



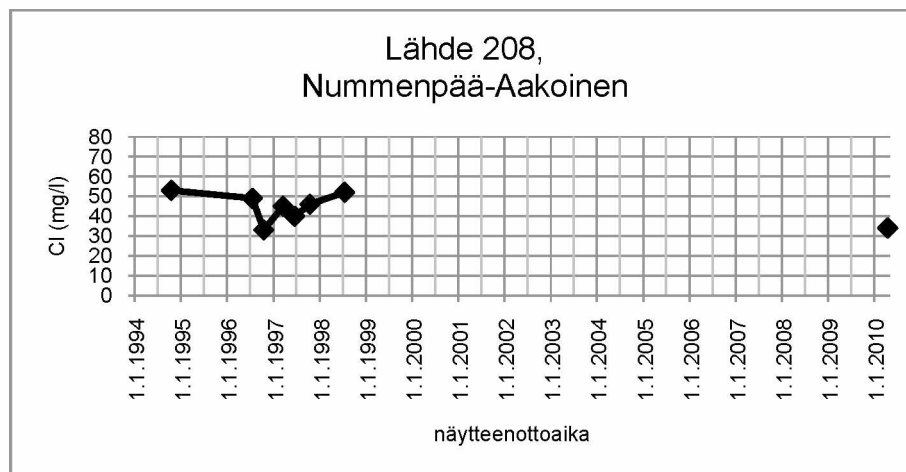
Kuva 13. Havaintopisteen 202 kloridipitoisuudet vuosina 1998–2001.



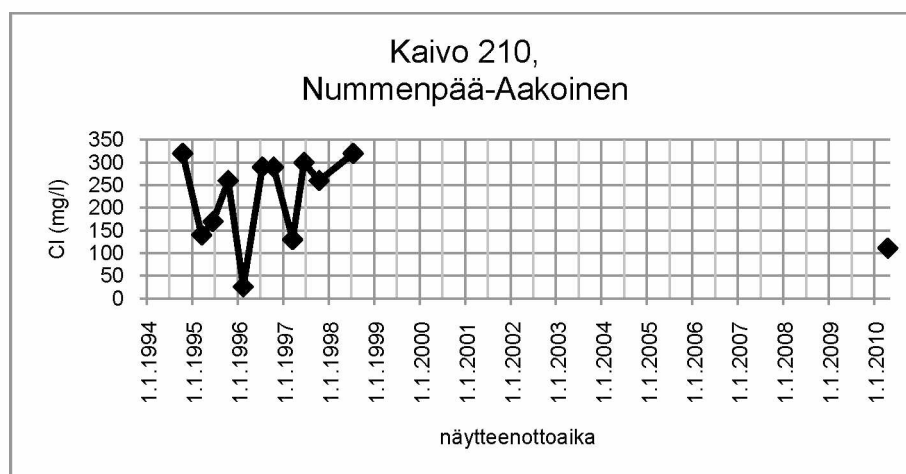
Kuva 14. Havaintopisteen 204 kloridipitoisuudet vuosina 1998–2001.



Kuva 15. Havaintopisteen 207 kloridipitoisuudet vuosina 1995–2000 ja vuonna 2010.



Kuva 16. Havaintopisteen 208 kloridipitoisuudet vuosina 1994–1999 ja vuonna 2010.



Kuva 17. Havaintopisteen 210 kloridipitoisuudet vuosina 1994–1998 ja vuonna 2010. Huom. y-akselin asteikkoa on skaalattu suuremmaksi kuin kuvissa 8–10 ja 12–16.

Suurinta kloridipitoisuuksien vaihtelu on kaivossa 210 (kuva 17), jossa minimissään kloridia on mitattu 26 mg/l ja maksimissaan 320 mg/l keskiarvon ollessa 218 mg/l. Toiseksi eniten kloridipitoisuudet ovat vaihdelleet havaintopisteessä 103 (kuva 11), jonka pitoisuudet ovat vaihdelleet välillä 15 mg/l ja 200 mg/l. Pitoisuuksien keskiarvo havaintopisteessä 103 on 108 mg/l.

Pienintä kloridipitoisuuksien vaihtelu on Aakoisten ottamolla (kuva 8), jossa pitoisuudet vaihtelevat välillä 43–56 mg/l ja toiseksi pienintä lähteessä 208 (kuva 16), jossa pitoisuudet vaihtelevat välillä 43–53 mg/l (vaihteluväli 20 mg/l). Havaintopisteessä 202 (kuva 13) vaihteluväli on 27 mg/l ja havaintopisteessä 207 (kuva 15) 33 mg/l. Muissa havaintopisteissä minimi- ja maksimipitoisuuksien erotukset vaihtelevat 40 ja 50 mg/l välillä.

Selvästi suurimmat pitoisuudet on mitattu kaivossa 210 (kuva 17) ja toiseksi suurimmat havaintopisteessä 103 (kuva 11). Pienimmät pitoisuudet on mitattu havaintopisteessä 207 (kuva 15), jossa pitoisuuksien keskiarvo on 10 mg/l (minimi 2,7 mg/l ja maksimi 36 mg/l). Toiseksi pienimpiä pitoisuudet ovat olleet havaintopisteissä 202 (kuva 13) (keskiarvo 20 mg/l), 101 (kuva 9) (keskiarvo 23 mg/l) ja 104 (kuva 12) (keskiarvo 25 mg/l). Muissa mittauspisteissä kloridipitoisuuksien keskiarvot ovat välillä 40–50 mg/l.

Taulukosta 1 havaitaan, että nitriitin (NO_2) pitoisuudet jäävät kaikissa havaintopisteissä alle määräysrajan (0,04 mg/l). Myös bromidin pitoisuus jää alle määräysrajan (0,1 mg/l) neljässä havaintopisteessä (Hp 102, Hp 103, Hp 207 ja kaivo 210). Nitraattipitoisuus vaihtelee Hp 103:n 7,8 mg/l ja Hp 207:n ja kaivon 210 1 mg/l välillä. Kaliumia on vähiten havaintopisteessä 207 (8,2 mg/l) ja eniten lähteessä 208 (20,0 mg/l). Natriumia on selvästi eniten kaivossa 210 ja toiseksi eniten havaintopisteessä 103. Vähiten natriumia on havaintopisteessä 207. Rautaa on eniten havaintopisteessä 207 (4,74 mg/l). Kaikissa muissa havaintopisteissä rautaa on alle 0,4 mg/l.

Taulukko 1. Pohjavesinäytteiden analyysitulokset Nummenpää-Aakoisten pohjavesialueelta huhtikuussa 2010.

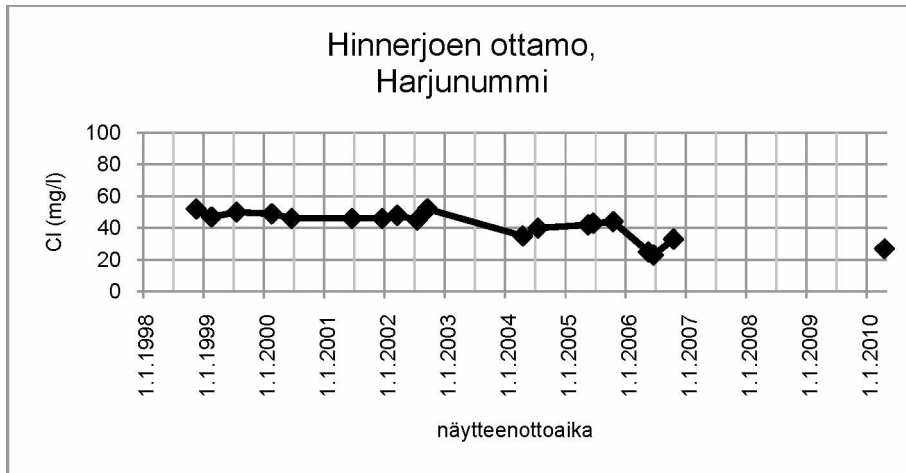
	Nummenpään ottamo	Hp 102	Hp 103	Hp 207	Lähde 208	Kaivo 210
NO ₂ (mg/l)	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04
NO ₃ (mg/l)	4.8	5.3	7.8	0.6	2.9	0.9
Ca (mg/l)	17.3	14.3	15.2	8.2	20.0	8.4
Mg (mg/l)	5.2	2.8	12.8	2.0	9.6	1.9
Na (mg/l)	16.2	10.3	39.1	4.5	18.7	73.3
Fe (mg/l)	0.03	0.05	<0.03	4.74	0.15	0.34
SO ₄ (mg/l)	16.3	11.9	15.7	2.2	65.9	8.7
Cl (mg/l)	34.1	17.6	80.7	3.1	33.8	111.0
I (µg/l)	5.38	4.93	5.22	6.49	5.31	6.51
F (mg/l)	0.6	0.4	0.3	<0.1	0.6	<0.1
Br (mg/l)	0.2	<0.1	<0.1	<0.1	0.3	<0.1
Alk (mmol/l)	0.8	0.5	1.1	0.6	0.5	0.6
Kok.kovuus (mmol/l)	0.644	0.474	1.100	0.286	0.896	0.290
pH	6.1	6.0	6.1	6.5	5.9	6.1
Sähkönjohtokyky (mS/m)	24.1	15.6	44.0	8.0	31.8	45.7
Sameus (NTU)	0.2	3.5	81.0	290.0	4.1	75.0

Kloridin pitoisuudet vaihtelevat havaintopisteen 207 3,1 mg/l ja kaivon 210 111 mg/l välillä. Myös jodidia on eniten kaivossa 210 ja lähes yhtä paljon havaintopisteessä 207. Vähiten jodidia on havaintopisteessä 102. Fluoridia on alle määritysrajan (0,1 mg/l) kaivossa 210 ja havaintopisteessä 207 ja eniten Nummenpään ottamalla ja lähenteessä 208.

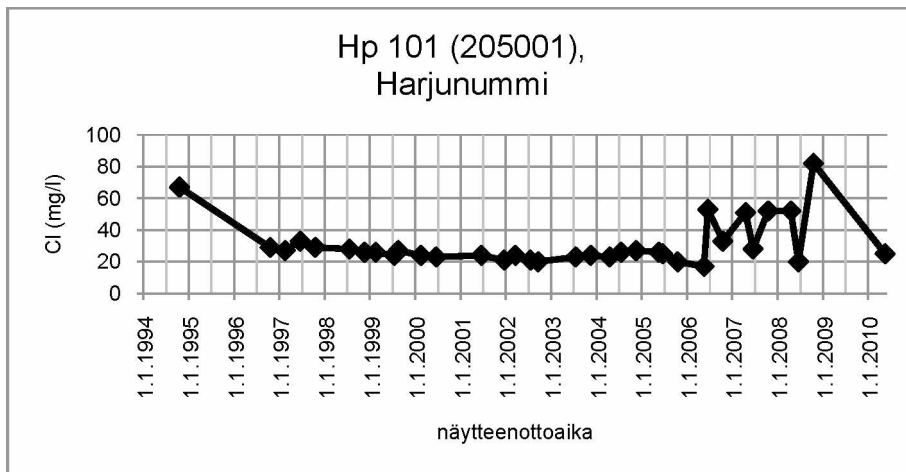
Alkaliteetti (HCO⁻) on suurimmillaan havaintopisteessä 103. Muissa näytteissä alkali-teetti on suunnilleen sama kaikissa. Selvästi kovinta vesi on havaintopisteessä 103 (1,1 mmol/l). Näytteiden pH:ssa ei juuri ole vaihtelua. Sameus vaihtelee välillä 0,2 – 290 NTU. Sameinta on havaintopisteen 207 vesi ja kirkkainta Nummenpään ottamon ja lähteen 208 vesi. Myös havaintopisteen 103 ja kaivon 210 vesi on melko sameaa.

4.1.2 Harjunummi

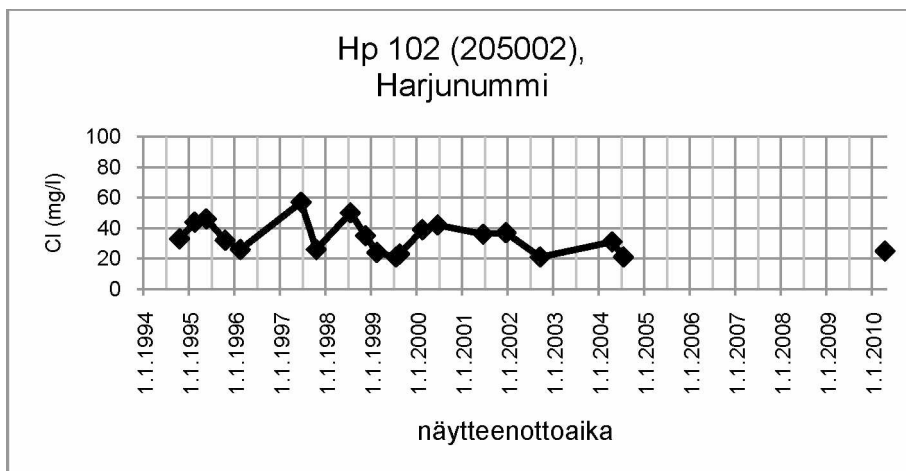
Harjunummen pohjavesialueelta otettujen pohjavesinäytteiden kloridipitoisuuksien ajalliset trendit on esitetty kuvaajissa 18–23. Mittaustulokset näkyvät kuvaajissa pisteinä. Myös uusimmat, tämän tutkimuksen yhteydessä saadut tulokset on lisätty niiden näytepisteiden kuvaajiin, joista uudet näytteet saatiin eli Hinnerjoen ottamolta ja pohjavesiputkista 101 (205001), 102 (205002) ja 103 (205003). Kaikki uudet analyysitulokset on esitetty taulukossa 2.



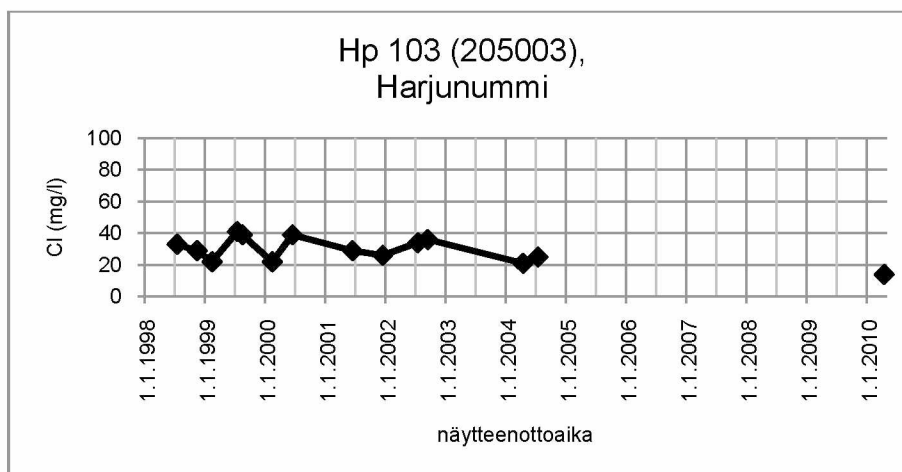
Kuva 18. Kloridipitoisuudet Hinnerjoen ottamolla vuosina 1998–2006 ja vuonna 2010.



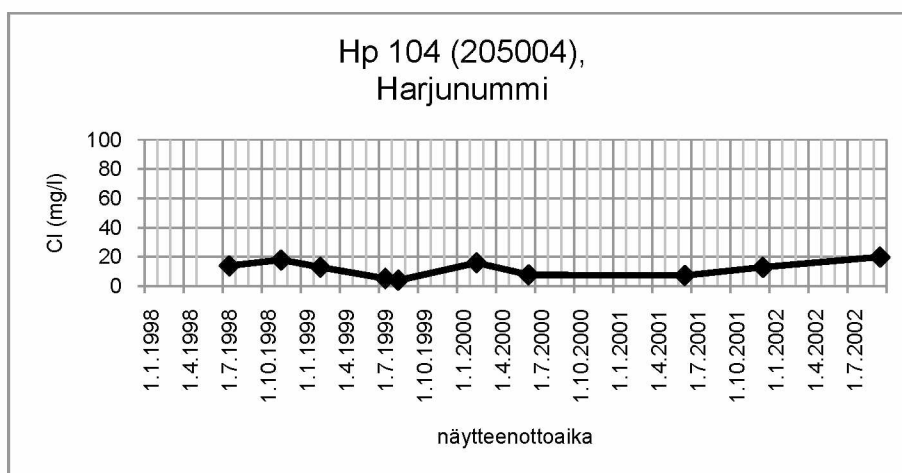
Kuva 19. Kloridipitoisuudet havaintopisteessä 101 (205001) vuosina 1994–2010.



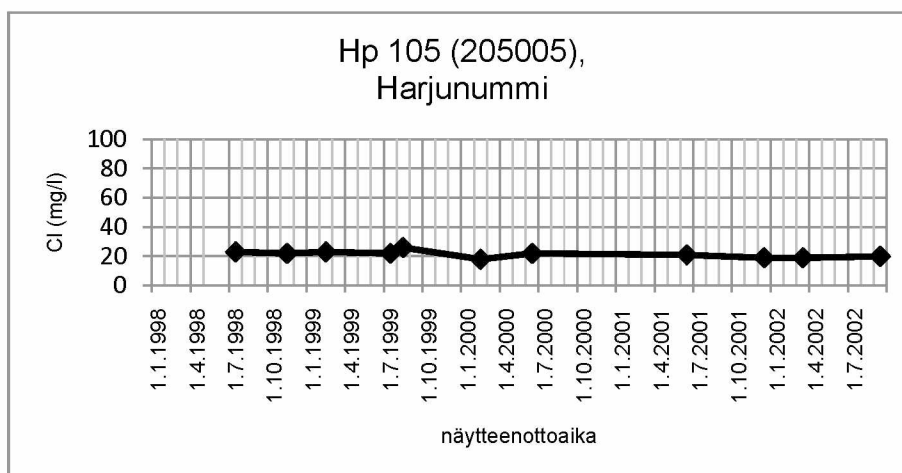
Kuva 20. Kloridipitoisuudet havaintopisteessä 102 (205002) vuosina 1994–2004 ja vuonna 2010.



Kuva 21. Kloridipitoisuudet havaintopisteessä 103 (205003) vuosina 1998–2004 ja vuonna 2010.



Kuva 22. Kloridipitoisuudet havaintopisteessä 104 (205004) vuosina 1998–2001.



Kuva 23. Kloridipitoisuudet havaintopisteessä 105 (205005) vuosina 1998–2001.

Pienimmät kloridipitoisuudet on mitattu havaintopisteessä 104 (205004) (kuva 22), jossa pitoisuudet vaihtelevat 4,1 mg/l ja 20 mg/l välillä pitoisuuksien keskiarvon ollessa 12 mg/l. Toiseksi pienimpiä pitoisuudet ovat havaintopisteessä 105 (205005) (kuva 23), jossa kloridia on mitattu keskimäärin 21 mg/l, minimin ollessa 18 ja maksimin 26 mg/l. Havaintopisteessä 105 myös pitoisuuksien vaihteluväli on pienin.

Korkeimpia kloridipitoisuudet ovat Hinnerjoen ottamolla (kuva 18), jossa pitoisuuksien keskiarvo on 42 mg/l, minimipitoisuus 23 mg/l ja maksimipitoisuus 52 mg/l. Suurimmat yksittäiset pitoisuudet on mitattu havaintopisteessä 101 (205001) (kuva 19), jossa minimipitoisuus on 17 mg/l ja maksimipitoisuus 82 mg/l keskiarvon ollessa 31 mg/l. Havaintopisteessä 101 (205001) myös pitoisuuksien vaihteluväli (vaihtelu 65 mg/l) on suurin. Pisteestä on myös eniten mittaustuloksia.

Taulukosta 2 nähdään, että nitriitin ja bromidin pitoisuudet ovat kaikissa näytteissä alle määritysrajan. Nitraattipitoisuus vaihtelee välillä 4,1–16,5 mg/l ja vähiten sitä on kaivossa ja puolestaan eniten havaintopisteissä 101 (205001) ja 102 (205002). Kalسيومpitoisuudet vaihtelevat kaivon 6,8 mg/l ja havaintopisteen 101 (205001) 31,6 mg/l välillä. Myös magnesiumia on vähiten kaivossa, jossa sitä on 1,98 mg/l. Suurin magnesiumipitoisuus (11,4 mg/l) on puolestaan havaintopisteessä 102 (205002). Natriumpitoisuudet ovat pienimmillään kaivossa, jossa natriumia on 2,94 mg/l ja suurimmillaan Hinnerjoen ottamolla, jossa sitä on 21,1 mg/l. Rautaa on kaikissa näytteissä alle määritysrajan tai lähellä määritysrajaa.

Taulukko 2. Pohjavesinäytteiden analyysitulokset Harjunummen pohjavesialueelta huhtikuussa 2010.

	Hinnerjoen ottamo	Hp 101 (205001)	Hp 102 (205002)	Hp 103 (205003)	Kaivo
NO ₂ (mg/l)	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04
NO ₃ (mg/l)	10.9	12.6	16.5	16.5	4.1
Ca (mg/l)	22.5	36.1	27.3	15.7	6.8
Mg (mg/l)	6.3	9.6	11.4	4.6	2.0
Na (mg/l)	21.1	13.6	10.5	10.8	2.9
Fe (mg/l)	<0.03	<0.03	<0.03	0.06	<0.03
SO ₄ (mg/l)	19.5	38.3	60.8	23.6	10.2
Cl (mg/l)	26.5	24.8	24.6	14.3	4.7
I (µg/l)	<2	5.16	2.92	<2	3.36
F (mg/l)	1.0	<1	1.0	0.8	0.5
Br (mg/l)	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Alk (mmol/l)	1.1	1.7	1.1	0.6	0.3
Kok.kovuus (mmol/l)	0.819	1.700	1.150	0.581	0.251
pH	6.4	6.8	6.4	6.3	6.1
Sähkönjohtokyky (mS/m)	31.3	36.6	35.5	20.5	8.7
Sameus (NTU)	0.6	0.2	2.6	38.0	7.9

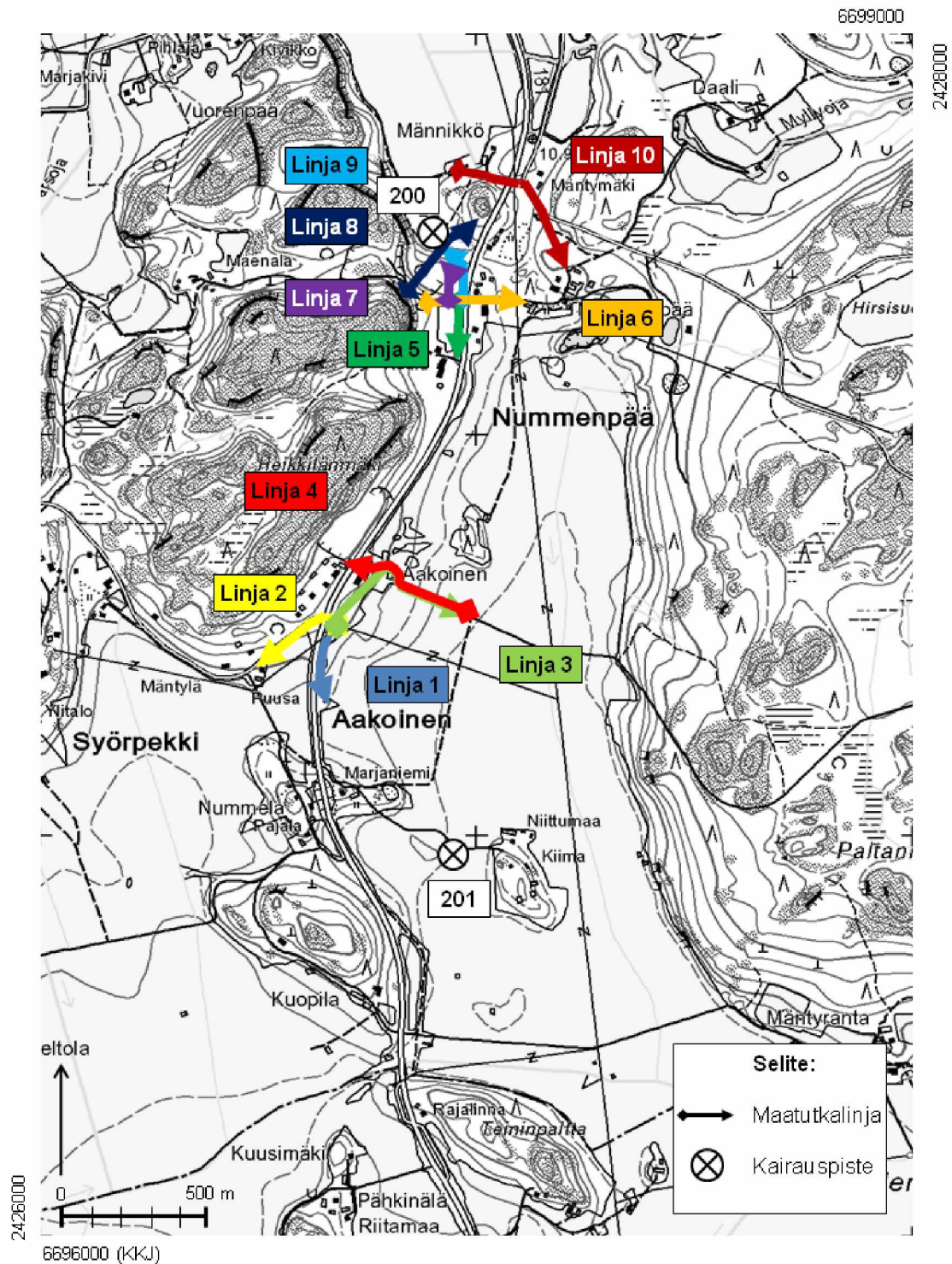
Sulfaatin pitoisuudet vaihtelevat 10,2 mg/l ja 60,8 mg/l välillä pitoisuuden ollessa pienimmillään kaivossa ja suurimmillaan havaintopisteessä 101 (205001). Myös kloridipitoisuus on pienimmillään kaivossa (4,7 mg/l). Eniten kloridia on puolestaan Hinnerjoen ottamolla, jossa kloridipitoisuus on 26,5 mg/l. Jodidin pitoisuudet jäävät alle 2 µg/l määrittäysrajan Hinnerjoen ottamolla ja havaintopisteessä 103 (205003). Selvästi suurin jodidipitoisuus (5,16 µg/l) on havaintopisteessä 101 (205001). Fluoridin pitoisuudet vaihtelevat 0,5 mg/l ja 1 mg/l välillä.

Pienin alkaliteetti on kaivossa (0,3 mmol/l) ja suurin havaintopisteessä 101 (205001) (1,7 mmol/l). Myös sähkönjohtokyky on pienin kaivossa. Muissa näytepisteissä sähkönjohtokyky on selvästi suurempi. Havaintopisteen 101 (205001) vesi on kovinta ja kaivon vesi puolestaan pehmeintä. Sameinta vesi on havaintopisteessä 103 (205003) ja kirkkainta havaintopisteessä 101 (205001) Hinnerjoen ottamolla.

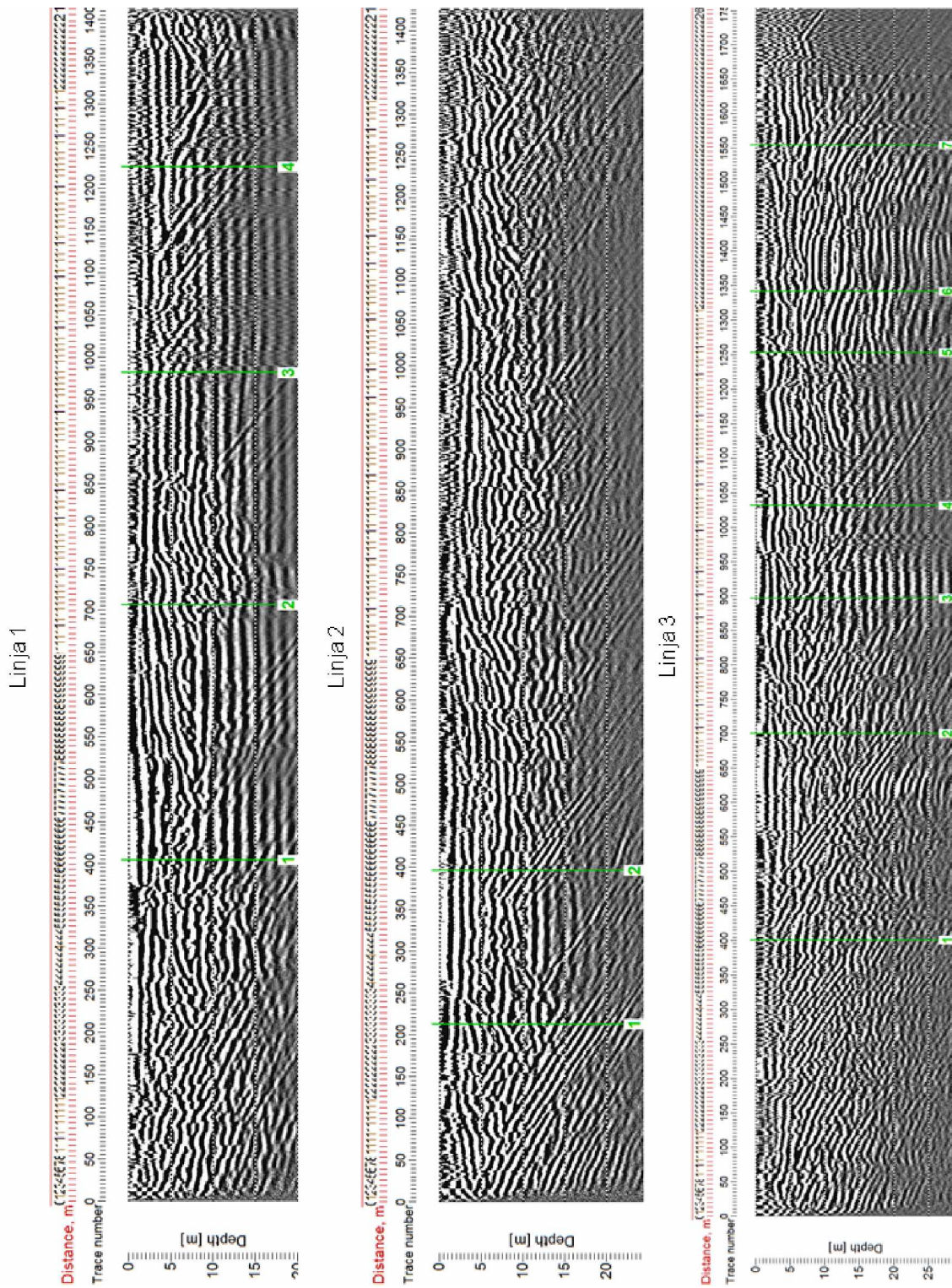
4.2 Maatutkaluotausten tulokset

4.2.1 Nummenpää-Aakoinen

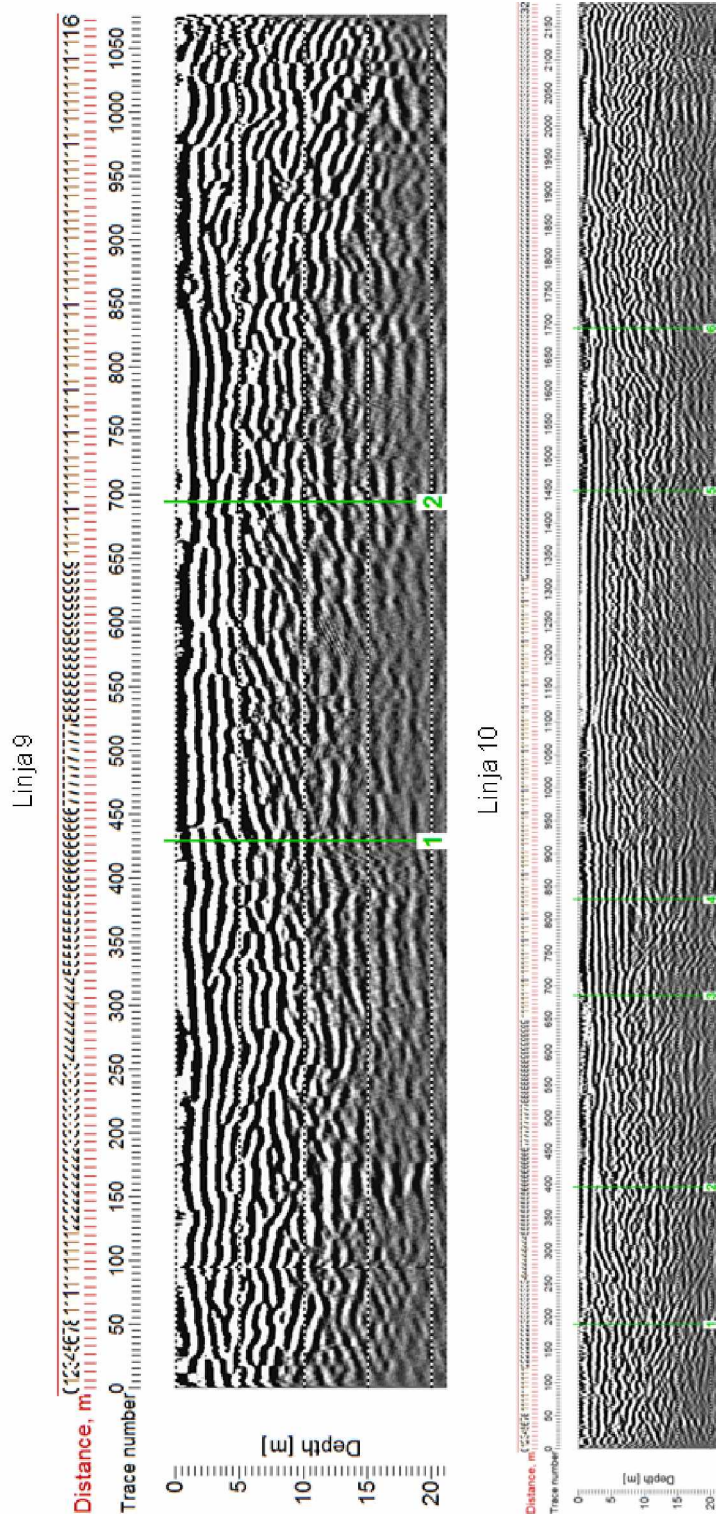
Nummenpää-Aakoisten pohjavesialueella tehtyjen maatutkaluotausten linjojen sijainnit ja aiempien selvitysten yhteydessä käytetyt kairauspisteet on esitetty kuvassa 24. Profiilit on esitetty kuvissa 25–28. Mahdolliset pohjavedenpintaa edustavat pinnat on merkitty profiileihin sinisellä viivalla. Numeroidut vihreät viivat kuvaavat markkereita, joiden avulla linjan profiilissa havaittavat yksityiskohdat saadaan sijoitettua maastoon oikeaan kohtaan. Markkereita on laitettu maastossa helposti kartalta löydettäviin kohteisiin kuten rakennusten tai risteysten kohdalle sekä esimerkiksi pohjavesiputkien kohdalle.



Kuva 24. Nummenpää-Aakoisilla suoritettujen maatutkaluotausten linjojen sijainnit sekä vanhojen kairauspisteiden sijainnit Suunnittelukeskus Oy (1981) mukaan.



Kuva 25. Nummenpää–Aakoisten alueella suoritettujen maatulokaluotausten profiilit linjoilta 1–3.

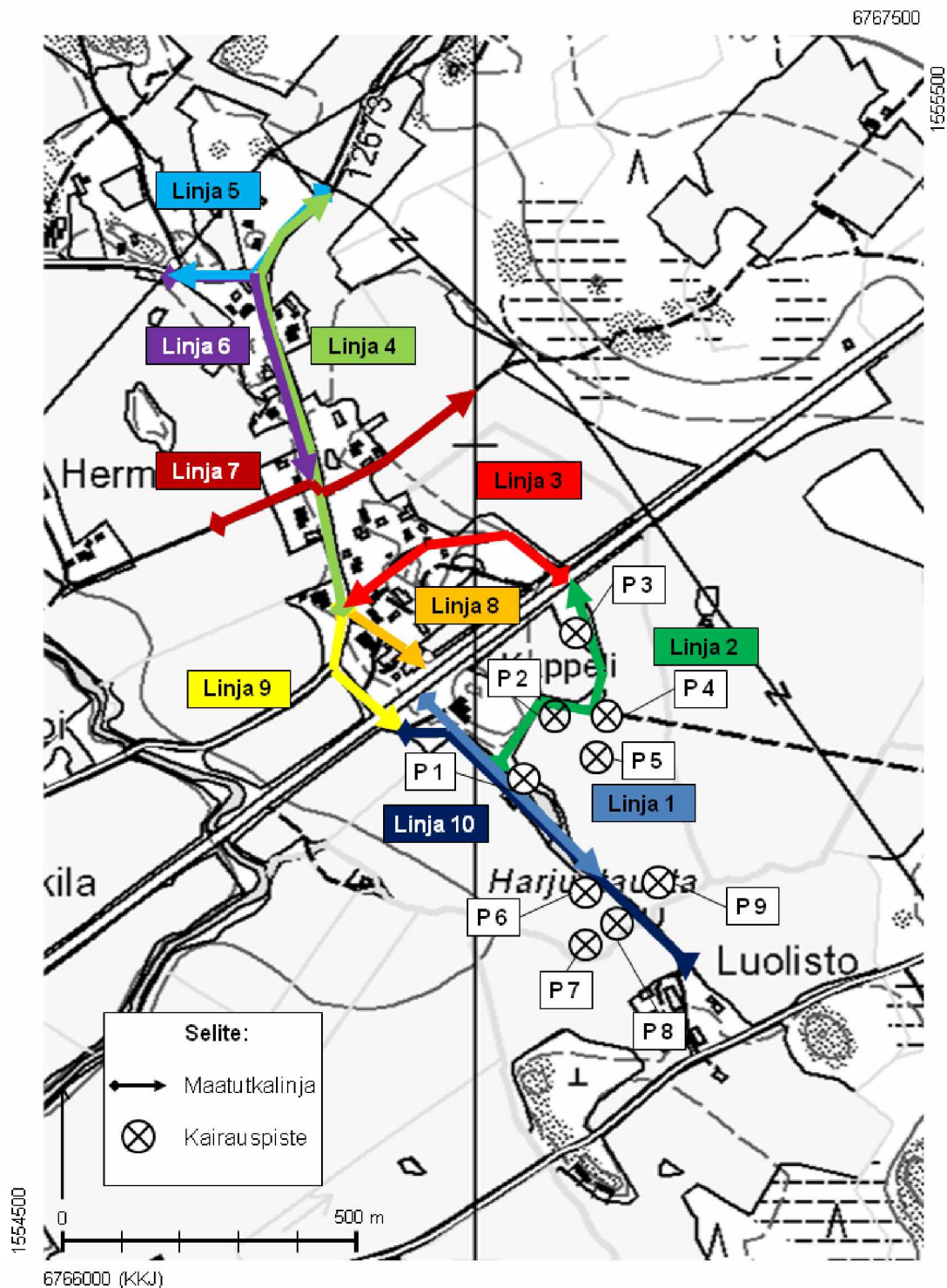


Kuva 28. Nummenpää-Aakoisten alueella suoritettujen maatulkuutausten profiilit linjoilta 9 ja 10.

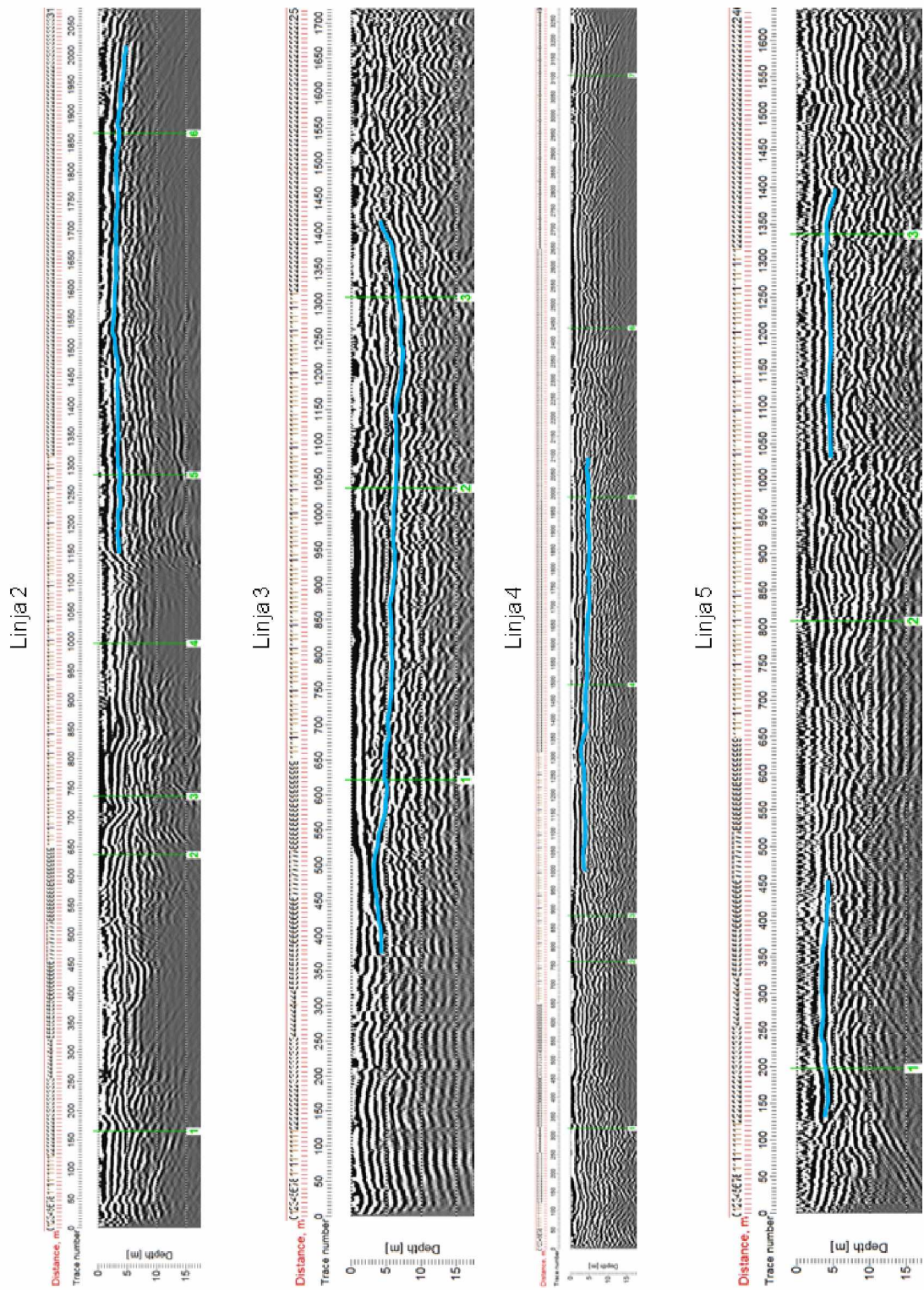
4.2.2 Harjunummi

Harjunummen pohjavesialueella tehtyjen maatulkuutausten linjojen sijainnit ja aiempien tutkimusten yhteydessä käytetyt kairauspisteet on esitetty kuvassa 29. Profiilit on esitetty kuvissa 30–32. Osa linjoista kulkee samoja reittejä, jolloin kuvissa on esitetty vain toinen kyseisistä profiileista, jos molemmista kyetään kuitenkin näke-

mään samat piirteet. Profiileihin on piirretty sinisellä viivalla pintoja, jotka saattavat edustaa pohjavedenpintaa. Muita erottuvia pintoja on merkitty profileihin ruskealla. Numeroidut vihreät viivat kuvaavat markkereita, joiden avulla linjan profilista havaittavat yksityiskohdat saadaan sovitettua maastoon oikeaan kohtaan. Markkereita on laitettu maastossa helposti kartalta löydettäviin kohteisiin, kuten rakennusten tai risteysten sekä esimerkiksi pohjavesiputkien kohdalle.

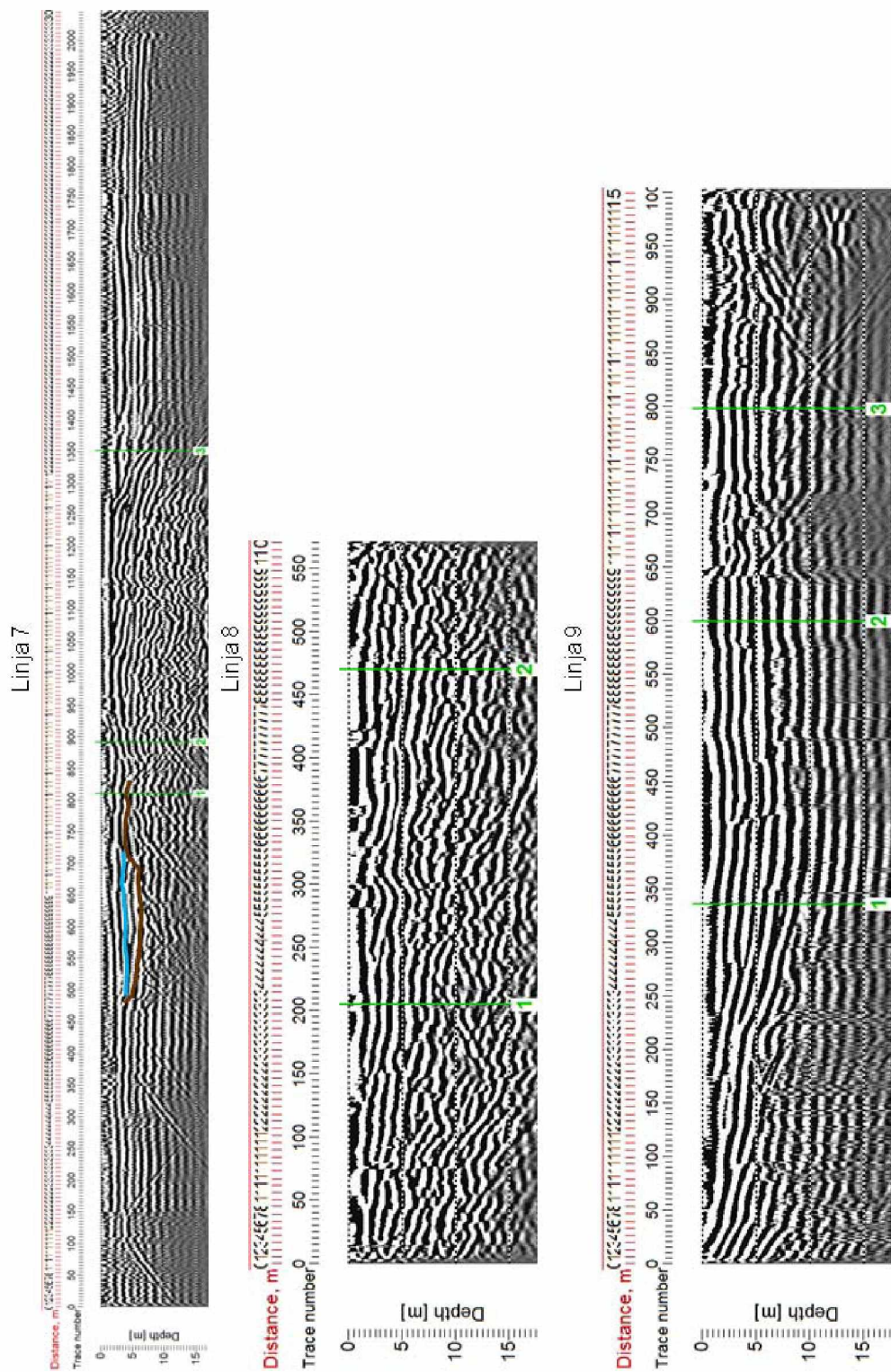


Kuva 29. Harjunummella suoritetun maatutkaluotausten linjojen sijainnit sekä vanhat kairauspisteet Turun vesi- ja ympäristöpiiri (1990) mukaan.



Kuva 30.

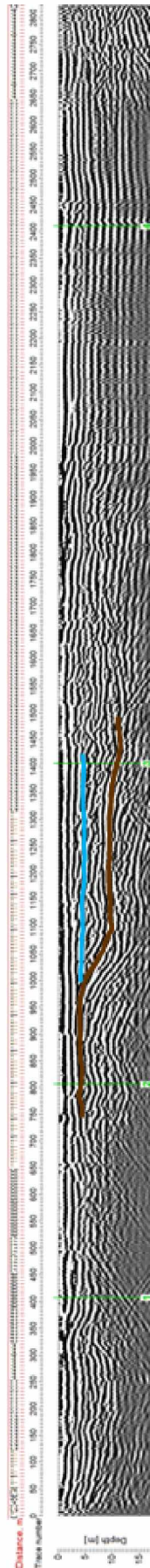
Harjunummen alueella suoritettujen maatulkaluotausten profiilit linjoilta 2–5.



Kuva 31.

Harjunummen alueella suoritettujen maatulkuotausten profiilit linjoilta 7–9.

Linja 10



Kuva 32. Harjunummen alueella suoritettujen maatumkaluotausten profiili linjalta 10.

5 Tulosten tarkastelu

5.1 Nummenpää-Aakoinen

5.1.1 Kloridiseuranta

Nummenpään ottamon kloridipitoisuuksien (kuva 7) yleinen trendi on melko tasainen, mutta hieman nouseva. Pitoisuudet ovat jatkuvasti yli korroosion ehkäisemiseksi asetetun suositusrajan 25 mg/l, mutta eivät ylitä talousvedelle asetettua laatusuositusta, joka on suurille yksiköille 250 mg/l. Kovin selkeää vuodenaikaisvaihtelua ei ole nähtävissä, vaikka pitoisuuksissa nähtävät huiput osuvat kesien 2004–2006 kohdille. Huhtikuussa 2010 otetun näytteen kloridipitoisuus on samaa luokkaa, kuin kloridiseurannassakin saadut tulokset. Vuosien 2004–2008 kloridipitoisuudet ovat hieman korkeampia kuin muina aikoina. Tiedot tiesuolauksen määristä paikallisella tasolla ovat sen verran epätarkkoja, ettei voida osoittaa, johtuuko tämä muutoksista tiesuolauksen määrässä.

Myös Aakoisten ottamon kloridipitoisuudet ovat yli suositusrajan (25 mg/l) (kuva 8). Aakoisten ottamon kloridipitoisuudet näyttävät melko tasaisilta jatkuvamman seurannan aikana. Myös kaksi uudempaa kloridiseurantahankkeen näytettä asettuvat samaan suuruusluokkaan. Tästä välistä ei ole saatavilla seuranta-aineistoa, joten ei voida nähdä olisiko Aakoisten ottamolla nähtävissä sama nousu vuosien 2004 – 2008 aikana, kuin Nummenpään ottamolla.

Pohjavesiputkessa 101 vaihtelu on ollut kohtalaisen suurta (kuva 9). Suurimmat pitoisuudet ajoittuvat vuoteen 1998 ja vuoden 1999 alkuun. Pitoisuudet ylittävät 25 mg/l suositusrajan monin paikoin. Vuodenaikaisvaihtelua ei selkeästi erotu.

Havaintopisteen 102 kloridiseurannan aikaiset pitoisuudet ovat melko vaihtelevia ja pääosin ohjearvon yläpuolella (kuva 10). Vuoden 2010 pitoisuus on samaa luokkaa kuin alimmat seurannan aikaiset pitoisuudet. Pitoisuuksissa on alussa nähtävissä kaksi notkahdusta, jotka osuvat molemmat syksyyn (vuosi 1998 ja 1999). Niitä ympäröivät korkeammat pitoisuudet ovat kesän ja talven pitoisuuksia. Vuonna 2001 sen sijaan kesän pitoisuus on loppusyksyn pitoisuutta suurempi, joten tässäkin tapauksessa ei voitane puhua kovin selkeästä vuodenaikaisvaihtelusta.

Havaintopisteessä 103 kloridipitoisuudet ovat olleet korkeita (kuva 11). Lähes kaikki ylittävät 25 mg/l rajan ja suuri osa jopa 100 mg/l rajan suurimpien pitoisuuksien ollessa 200 mg/l. Pitoisuudet näyttäisivät kuitenkin kaiken kaikkiaan olevan hieman laskussa. Nummenpään ottamolla havaittua korkeampaa pitoisuuksien tasoa vuosien 2004–2008 välillä ei ole havaittavissa, vaan korkeimmat pitoisuudet näyttävät ajoittuvan ennemminkin vuosien 1999–2000 välille. Alimmillaan pitoisuudet ovat olleet vuonna 2006. Pitoisuuksissa ei juuri näy vuodenaikaisvaihtelua.

Havaintopisteessä 104 trendi on ollut laskeva ja pitoisuudet ovat pääosin 25 mg/l ohjearvon tuntumassa (kuva 12). Vuodenaikaisvaihtelua ei erotu.

Myös havaintopisteessä 202 trendi on ollut laskeva, eikä siinä erotu vuodenaikaisvaihtelua (kuva 13). Kloridipitoisuudet ovat pääosin ohjearvon alapuolella.

Havaintopisteen 204 kloridipitoisuuksissa on ollut nouseva trendi (kuva 14). Pitoisuudet ovat olleet melko korkeita ja pääosin yli ohjearvon. Vuodenaikaisvaihtelua ei erotu.

Havaintopisteessä 207 kloridipitoisuudet ovat olleet pääosin melko alhaisia, mutta syksyn 1998 ja alkusyksyn 1999 kohdalla poikkeavan korkeita (kuva 15). Vain nämä muista poikkeavat arvot ylittävät 25 mg/l ohjearvon. Kevään 2010 pitoisuus ei juuri poikkeaa aiemmista tyypillisistä arvoista.

Lähteen 208 kloridipitoisuudet ovat 30 ja runsaan 50 mg/l välillä ja siten ohjearvon yläpuolella (kuva 16). Myös huhtikuussa 2010 otettu näyte asettuu samaan suuruusluokkaan. Lähteenkään pitoisuuksissa ei ole havaittavissa vuodenaikaisvaihtelua.

Kaivon kloridipitoisuudet ylittävät pienten yksiköiden talousvedelle asetetun 100 mg/l raja-arvon selvästi (kuva 17). Kloridipitoisuuksissa on havaittavissa suurta vaihtelua. Korkeimmillaan arvot ovat kesäisin ja syksyisin otetuissa näytteissä, kun taas talven ja alkukevään arvot poikkeavat näistä selvästi. Huhtikuussa 2010 otetun näytteen kloridipitoisuus on suuruusluokaltaan samanlainen, kuin aiemmin samaan vuodenaikaan otettujen näytteidenkin.

5.1.2 Vertailu talousvedelle asetettuihin ohje- ja raja-arvoihin sekä alueellisiin taustapitoisuuksiin

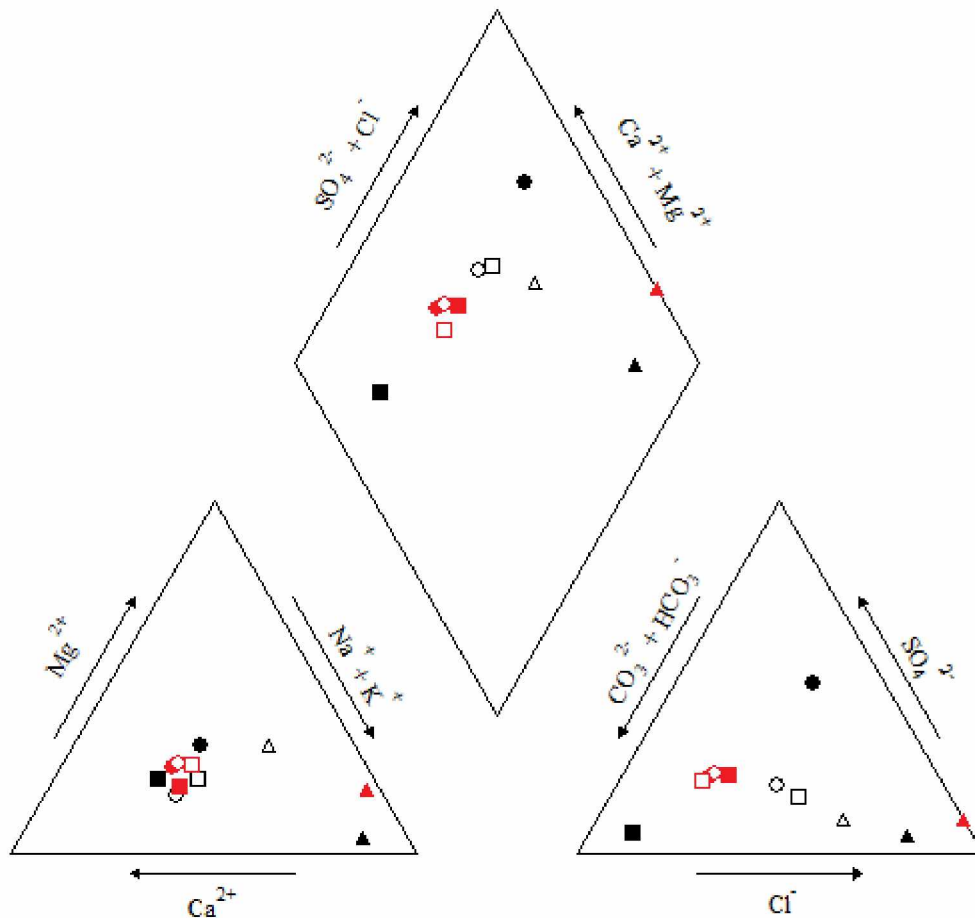
Talousvedelle on asetettu ohje- ja/tai raja-arvot (tässä tutkimuksessa määritetyistä parametreista) kloridin lisäksi myös nitriitille, sameudelle, raudalle, ammoniumtyppelle, pH:lle, fluoridille, sulfaatile, nitraatille, alkaliteetille, sähkönjohtokyvyille ja kovuudelle (STM asetukset 461/2000 ja 401/2001, arvot on esitetty liitteessä 3). Nummenpää-Aakoisten pohjavesialueen näytteistä (taulukko 1) vain Nummenpään ottamon näyte alittaa sameudelle (pienille yksiköille) asetetun 1 NTU:n suositusylärajan. Selvimmin rajan ylittää havaintopisteen 207 näyte, mutta myös havaintopisteen 103 ja kaivon 210 vesi on melko sameaa. Raudan osalta suositusrajan ylittää vain havaintopisteen 207 näyte, jossa rautaa on hieman yli kymmenkertainen määrä suositukseen verrattuna. Muissa näytteissä on rautaa erittäin vähän. Havaintopisteen 207 veden sameus voi johtua korkeammasta rautapitoisuudesta, mutta myös savipartikkelit ja orgaaninen aines aiheuttavat pohjaveden sameutta (Korkka-Niemi ja Salonen 1996). Sulfaattipitoisuudet ovat kaikissa näytteissä lähdeä 208 lukuun ottamatta alhaiset verrattuna suositukseen. Lähteen 208 pitoisuus ei kuitenkaan ylitä suositusylärajaa. Kaiken kaikkiaan talousvedelle asetettuihin ohje- ja raja-arvoihin verrattuna Nummenpää-Aakoisten pohjavesialueen vedenlaatu on pääsääntöisesti hyvä.

Lahermo *et al.* (1990) esittämiin Suomen alueellisiin taustapitoisuuksiin verrattuna kaikkien Nummenpää-Aakoisten alueen pohjavesinäytteiden kalsiumpitoisuudet ovat lähdeä 208 lukuun ottamatta hieman alhaisempia. Lähteissä alueellinen taustapitoisuus on noin 6–7 mg/l, kun lähteessä 208 havaittu pitoisuus on 20,0 mg/l. Rautapitoisuuksien osalta muut näytteet havaintopistettä 207 lukuun ottamatta ovat alueelle tyypillisiä, kun taas havaintopisteen 207 rautapitoisuus on monin kymmenkertainen. Lähteen 208 ja havaintopisteen 103 magnesiumpitoisuudet ovat alueen taustapitoisuuteen nähden noin kaksinkertaisia, kun taas muiden näytteiden magnesiumpitoisuudet jäävät taustapitoisuuden tuntumaan tai sen alle. Lähteessä 208 myös sulfaattipitoisuus on noin viisinkertainen verrattuna lähteissä mitattuihin taustapitoisuuksiin, jotka ovat noin 11–13 mg/l. Rengaskaivoista mitattu taustapitoisuus on noin 18 mg/l, jonka alle kaikkien muiden havaintopisteiden sulfaattipitoisuudet jäävät.

Natriumpitoisuudet havaintopisteessä 103 (yli kaksinkertainen) ja kaivossa 210 (yli viisinkertainen) ovat selvästi korkeammat, kuin alueen taustapitoisuus (13–15 mg/l). Myös näiden näytepisteiden kloridipitoisuudet poikkeavat selvästi geokemian atlakassa esitetyistä alueelle tyypillisistä noin 10 mg/l pitoisuuksista kaivon pitoisuuden ollessa jo kymmenkertainen siihen nähden. Lähteille natriumin taustapitoisuudeksi on mitattu noin 5–6 mg/l ja kloridille noin 3–5 mg/l, joihin verrattuna lähteen 208 kloridipitoisuus on lähes kymmenkertainen ja natriumpitoisuus noin kolminkertainen. Kaikkien muiden havaintopisteiden, paitsi kaivon 210 ja havaintopisteen 207 nitraatipitoisuudet kohoavat alueelle tyypillisiä pitoisuuksia ($< 1,0$ mg/l) korkeammiksi, suurimmillaan yli seitsenkertaisiksi havaintopisteessä 103. Alkaliteetti on kaikissa näytepisteissä alhaisempi kuin alueellinen taustapitoisuus (noin 1,5–1,6 mmol/l). Sähkönjohtavuuden arvot ovat taustapitoisuutta (noin 220–280 $\mu\text{S}/\text{cm}$ rengaskaivoissa ja 70–85 $\mu\text{S}/\text{cm}$ lähteissä) korkeampia lähteessä 208, jossa se on yli nelinkertainen ja kaivossa 210 sekä havaintopisteessä 103, joissa se on kaksinkertainen, kun taas havaintopisteen 207 sähkönjohtavuus ovat alueellisiin taustapitoisuuksiin verrattuna noin kolmasosan. Havaintopisteen 103 vesi on hieman kovaa ja muiden näytepisteiden vesi pehmeää. Alueelle tyypillistä on melko pehmeä vesi (noin 0,7 mmol/l).

5.1.3 Piperin diagrammi

Pohjavesinäytteiden pääionien suhteellisia osuuksia voidaan tarkastella ja verrata sekä meriveden että keskimääräisen suomalaisen pohjaveden koostumukseen Piperin diagrammin avulla. Kaliummäärityksen puuttumisesta huolimatta kaikista näytteistä piirrettiin Piperin diagrammit olettaen kaliumin pitoisuudeksi 0 mg/l. Kaikki Nummenpää–Aakoisten pohjavesialueelta kerättyjen näytteiden kationi-anionitasapainot täyttivät elektroneutraalisuusehdon, jolloin tuloksia voidaan pitää edustavina kaliumin puuttumisesta huolimatta. Tästä voidaan päätellä, että kaliumin pitoisuus näissä näytteissä on pieni. Nummenpää–Aakoisten alueen pohjavesinäytteiden Piperin diagrammi on esitetty kuvassa 33.



Kuva 33. Nummenpää–Aakoisten pohjavesinäytteet Piperin diagrammissa. Punainen kolmio edustaa meriveden koostumusta (Mason 1966) ja muut punaiset keskimääräistä pohjaveden pitoisuutta Suomessa lähteissä ja rengaskaivoissa hiekka- ja soramuodostumissa sekä savimuodostumissa (Lahermo et al. 1990, pitoisuudet esitetty liitteessä 4). Muut merkit: musta neliö= Hp 207, valk. neliö= Nummenpään ottamo, musta ympyrä= Lähde 208, valk. ympyrä= Hp 102, musta kolmio= Kaivo 210 ja valk. kolmio= Hp 103.

Diagrammista nähdään, että näytteet hajaantuvat paljon varsinkin anionien osalta. Näytteet ovat etenkin kloridin suhteen hyvin hajallaan, mutta myös bikarbonaatin suhteen vaihtelu on kohtalaisen suurta. Lähde 208 asettuu muista poiketen lähelle sulfaatti -tyypin vesiä, mutta on kationien suhteen melko lähellä keskimääräistä suomalaista pohjavettä. Kaivon 210 vesi on puolestaan erittäin selvästi Na–Cl-tyypin vettä. Myös havaintopiste 103 asettuu samaan vesityyppiin. Muut näytteet asettuvat kationien puolesta melko lähelle keskimääräistä suomalaista pohjavettä.

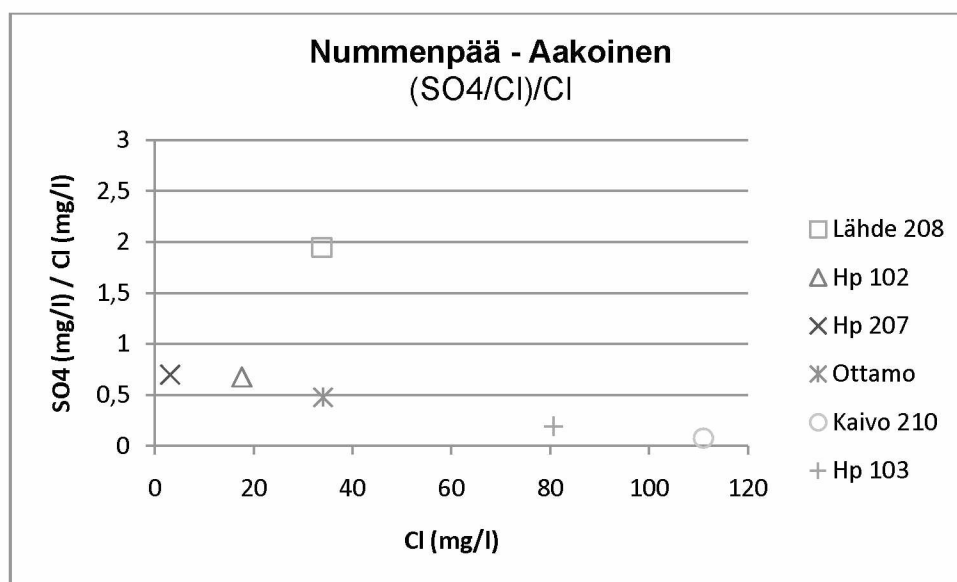
5.1.4 Ionisuhteet

Olofsson ja Gontier (2002) ovat selvittäneet eri ionisuhteiden käyttöä tiesuolan ja muiden pohjavesien kloridin lähteiden, kuten reliktisen meriveden, jätevesien ja uuden meriveden intruusion, erottamista. Parhaimmiksi tiesuolauksen ja reliktisen meriveden aiheuttaman suolaantumisen erottajaksi osoittautuivat Br/Cl- ja I/Cl- suhteet. Samat parametrit sopivat myös tiesuolan ja jätevesien aiheuttaman suolaan-

tumisen erottamisessa. Myös $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$, Na^+/Cl^- , $\text{Mg}^{2+}/\text{Cl}^-$, $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ - ja F^-/Cl^- -suhteet voivat olla avuksi. Jätevesien erottamiseksi tiesuolasta tai fossiilisesta merivedestä myös K^+/Cl^- -suhde on hyödyllinen. Ionisuhteiden tulkinnassa on kuitenkin otettava huomioon, että yksittäisen pohjavesialueen vesi on aina sekoitus useista eri lähteistä olevaa vettä.

Olofssonin ja Gontierin (2002) mukaan sulfaattipitoisuudet ovat korkeampia teiden läheisyydessä, vaikka tiesuola sisältääkin useimmiten erittäin vähän sulfaattia. Aiemmin on kuitenkin havaittu, että tätä eroa ei kyetä havaitsemaan muinaisen (viime jääkauden jälkeisen) merivedenpinnan alapuolella olevissa pohjavesissä (Olofsson ja Sandström 1998). Olofssonin ja Gontierin (2002) mukaan vanhan merenpohjan savikot voivat sisältää pyriittiä, joka hapettuuessaan on merkittävä sulfaatin lähde. Tutkimuksessa reliktisen meriveden $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$ -suhde oli 0,04 ja muinaisen meriveden pinnan alapuolella sijaitsevan tutkimuskohteen pohjavesissä 0,4–0,5 laskien hieman kloridipitoisuuden kasvaessa. Lisäksi korkeat pitoisuudet sulfaattia voivat olla merkki kuiva- tai märkäläskeumasta. $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$ -suhde on siten tulkinnaltaan hyvin hankala tutkimuksen kohteena olevilla pohjavesialueilla, sillä ne kumpikin sijaitsevat vanhojen merenpohjan savikoiden vaikutusalueella.

Kuvasta 34 nähdään $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$ -suhteet Nummenpää–Aakoisten näytteissä. Pitoisuudet noudattavat samaa trendiä kuin Olofssonin ja Gontierin (2002) tutkimuksessa savikoiden vaikutuspiirissä olevat näytteet. Ainoana poikkeuksena on lähde 208, jonka $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$ -suhde on selvästi muita korkeampi ja viittaa mahdollisesti johonkin muuhun sulfaatin lähteeseen, kuin vain savikoihin. Johtuen useista sulfaattipitoisuuksiin vaikuttavista epävarmuustekijöistä savipeitteisillä pohjavesialueilla ei tästä voida tehdä varmoja johtopäätöksiä. Olofsson ja Gontier (2002) suosittelevatkin menetelmää enemmän käytettäväksi karkeissa maa-aineksissa esiintyvillä pohjavesialueilla etenkin korkeimman muinaisen (viime jääkauden jälkeisen) merivedenpinnan yläpuolella.

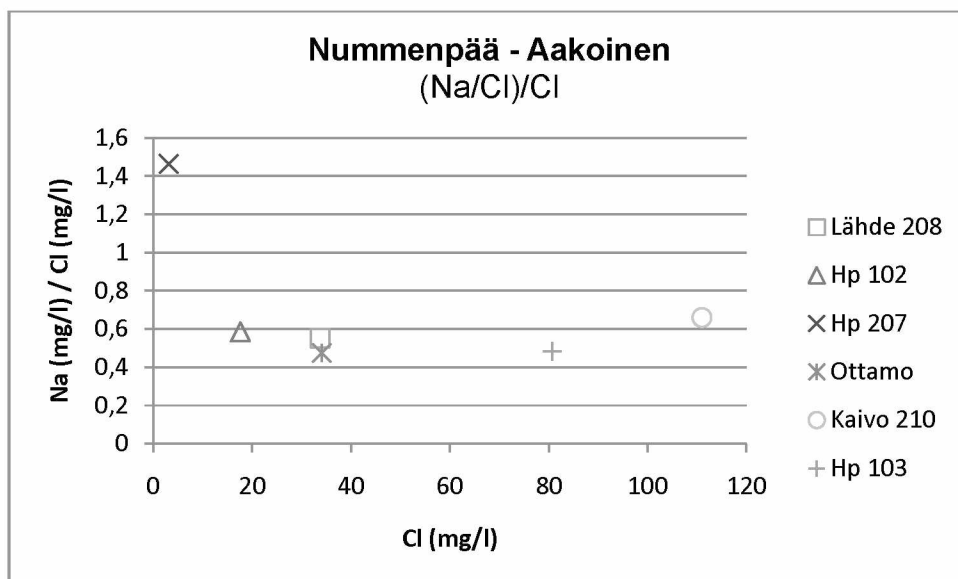


Kuva 34. Nummenpää–Aakoisten pohjavesinäytteiden $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$ -suhteet suhteessa kloridipitoisuuteen.

Natriumin ja kloridin suhde on Olofsson ja Gontier (2002) mukaan myös melko epävarma erotuskeino, sillä natrium osallistuu herkästi maaperässä tapahtuviin ioninvaihtoreaktioihin ja on siten erittäin riippuvainen paikallisista geologista olosuhteis-

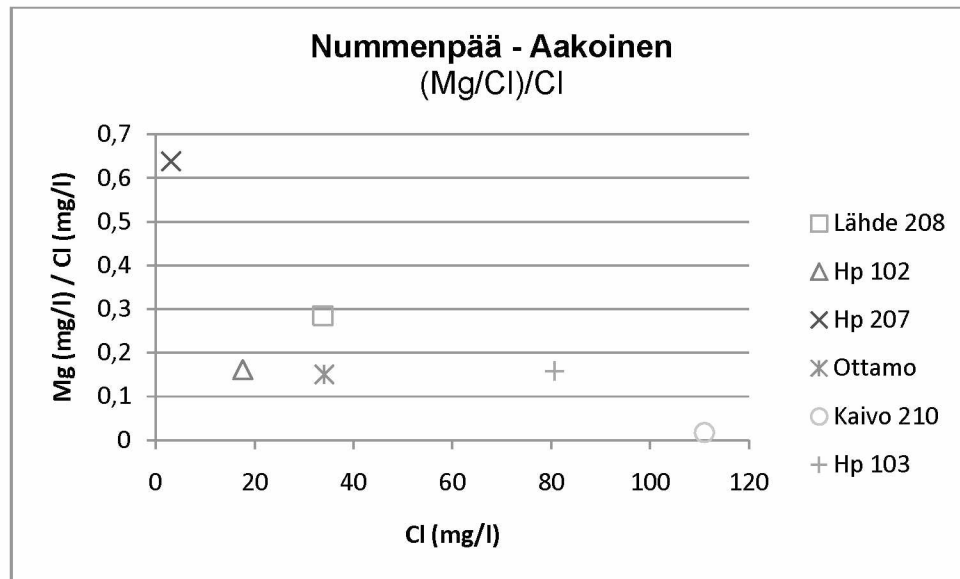
ta. Erityisesti savet toimivat aktiivisina ioninvaihtajina. Tiesuolauksen johdosta kasvava natriumin määrä maaperässä voi kiihdyttää kalsiumin vapautumista ja siten nostaa kalsiumin pitoisuutta pohjavesissä. Toisaalta runsas makean veden lisäys, kuten myöhäiskevään tai syksyn sateet, voi vapauttaa aiemmin maaperään tiesuolauksen seurauksena sitoutunutta natriumia. Tästä johtuen tiesuolauksesta aiheutuvan kloridipitoisuuden kasvaessa seurauksena voi olla Na^+/Cl^- -suhteen laskeminen kloridipitoisuuden noustessa. Yleisesti tiesuolan vaikutus aiheuttaa korkeampia arvoja kuin reliktinen merivesi. Jätevesien Na^+/Cl^- -suhde on korkeampi kuin reliktisen meriveden tai tiesuolan suhde, mutta tässä tutkimuksessa niiden aiheuttama kloridipitoisuus oli noin 250–300 mg/l, joten ei ole tietoa, miten vähäisempi jätevesien aiheuttama suolaantuminen näkyisi Na^+/Cl^- -suhteessa.

Puhtaan tiesuolan Na^+/Cl^- -suhde on noin 0,65, jota kaikkein lähimpänä on kuvan 35 mukaan eniten kloridia sisältävän kaivon 210 arvo. Mahdollisesti tieltä valuva vesi pääsee kaivoon reagoimatta maaperässä juuri ollenkaan. Selkeää trendiä Na^+/Cl^- -suhteessa ei ole havaittavissa kloridipitoisuuden kasvaessa. Vähiten kloridia sisältävä Hp 207:n suhde poikkeaa selvästi muista.



Kuva 35. Na^+/Cl^- -suhde suhteessa kloridipitoisuuteen Nummenpää–Aakoisissa.

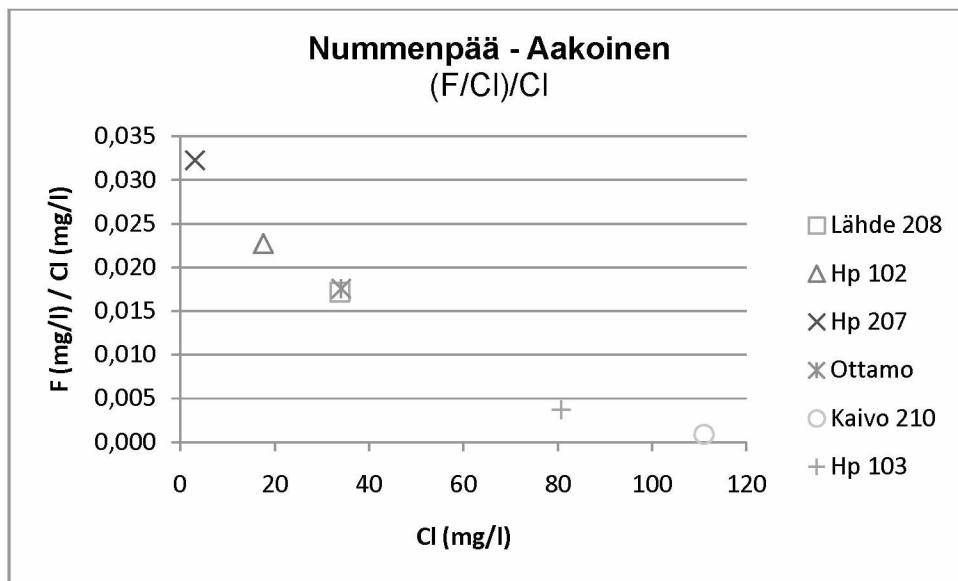
$\text{Mg}^{2+}/\text{Cl}^-$ -suhde soveltuu huonosti reliktisten merivesien ja tiesuolan aiheuttaman suolaantumisen erottamiseen, sillä ioninvaihtoreaktiot vaikuttavat vahvasti magnesiumin pitoisuuteen. Tiesuolan vaikutus aiheuttaa siten erilaisen seurauksen geologista olosuhteista riippuen. Suuren ioninvaihtokapasiteetin omaavilla savikkoisilla alueilla $\text{Mg}^{2+}/\text{Cl}^-$ -suhde on korkeampi kuin muilla alueilla ja tiesuolan aiheuttaman natriumin lisäyksen seurauksena magnesiumia päätyy todennäköisesti enemmän pohjavesiin kuin jää maaperään. Kloridipitoisuuksien ollessa korkeita sekä tiesuolan että reliktisen meriveden $\text{Mg}^{2+}/\text{Cl}^-$ -suhde alkaa lähestyä samaa arvoa. Karkeissa maa-aineksissa tiesuolan tulisi aiheuttaa vajoveden suhdetta (noin 0,13) alhaisemman suhteen. $\text{Mg}^{2+}/\text{Cl}^-$ -suhde voi kuitenkin olla avuksi jätevesien ja tiesuolan aiheuttaman suolaantumisen erottamisessa. Tämän tutkimuksen tapauksessa suhde jäänee kuitenkin myös siinä tarkoituksessa melko käyttökeltottomaksi, sillä molemmat pohjavesialueet ovat savikoiden vaikutuksessa. Alhaisin $\text{Mg}^{2+}/\text{Cl}^-$ -suhde on kuitenkin havaittavissa eniten kloridia sisältävässä näytteessä (kaivo 210) (kuva 36).



Kuva 36. Mg^{2+}/Cl^- -suhde suhteessa kloridipitoisuuteen Nummenpää-Aakoisissa.

F-/Cl⁻ -suhde voi olla käyttökelpoinen erottamaan eri suolaantumisen lähteitä. Fluorin pitoisuus pohjavesissä on yleensä melko vakaa, joten tiesuolan kloridi laskee pohjaveden F-/Cl⁻-suhdetta merkittävästi. Savikkoisilla alueilla suhteen havaittiin olevan hieman suurempi, mikä voi johtua ioninvaihtoreaktioista. Fluoridipitoisuudet jätevesissä voivat vaihdella suuresti (Howard ja Beck 1993). Olofssonin ja Gontierin (2002) mukaan fluoridi voi olla käyttökelpoinen, jos sitä on jätevedessä runsaasti. Tällöin on otettava näyte suoraan jätevedestä. Olofssonin ja Gontierin (2002) tutkimuksessa tiesuolan vaikutuksen alaisilla pohjavesialueilla suhde oli alle 0,006, kun taas reliktisen meriveden näytteiden suhde oli noin 0,005–0,01.

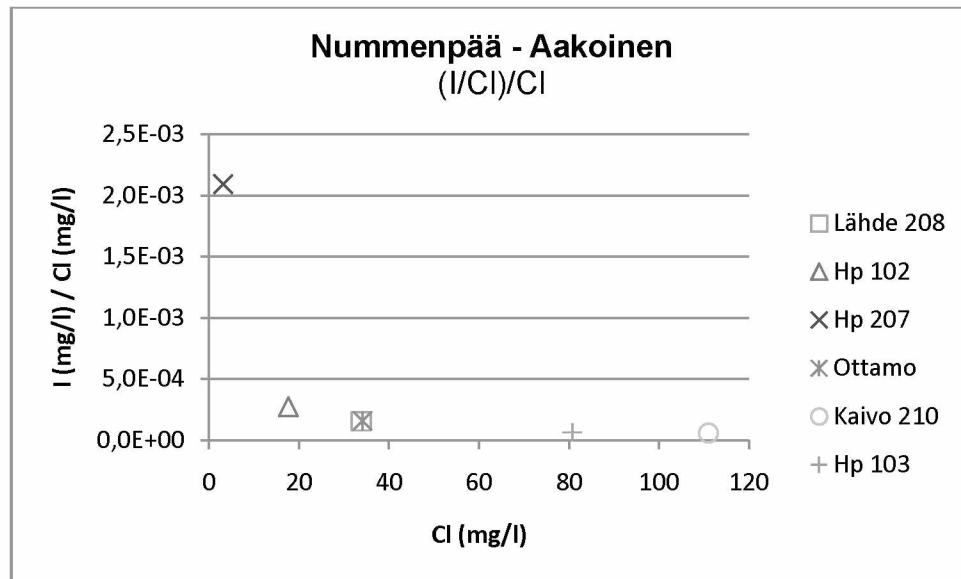
Kuvan 37 perusteella kaksi suurimman kloridipitoisuuden omaavaa näytettä (Hp 103 ja kaivo 210) ovat selkeästi tiesuolan suolaamia. Kuvassa pienimmän kloridipitoisuuden omaavan havaintopisteen 207 suhteen perusteella ei voida tehdä johtopäätöksiä, sillä sen fluoridipitoisuus on alle määritysrajan ja kuvaajassa näkyvä piste on piirretty käyttäen fluoridipitoisuutena määritysrajaa (0,1 mg/l). Tällöin suhde voi olla mitä tahansa alle kuvaajassa näkyvän suhteen. Sama koskee kaivoa 210, mutta tässä tapauksessa se ei haittaa johtopäätösten tekemistä. Muiden kuin jo mainittujen havaintopisteiden F-/Cl⁻-suhteet ovat melko korkeita verrattuna reliktisen meriveden arvoihin, mikä voi johtua savikoiden vaikutuksesta. Selvästi kloridipitoisuuden nousun myötä laskeva trendi kertoo todennäköisesti tiesuolan vaikutuksesta.



Kuva 37. *F/Cl-suhteet suhteessa kloridipitoisuuksiin Nummenpää-Aakoisissa. Huom. havaintopisteen 207 ja kaivon 210 fluoridipitoisuudet ovat alle määrittelysrajan, joten niiden F/Cl-suhteet ovat arvoiltaan maksimissaan niin suuret, kuin kuvaajassa näkyvät arvot.*

I/Cl-suhde on Olofssonin ja Gontierin (2002) mukaan hyvä apuväline reliktisen meriveden ja tiesuolan aiheuttaman suolaantumisen erottamisessa, sillä jodi kuuluu merisuoloihin, kun taas tiesuolassa on jodia hyvin vähän. Jätevesissä jodia on runsaasti ja niiden I/Cl-suhde on $> 0,0014$ jätevesien aiheuttaman kloridipitoisuuden ollessa noin 250 mg/l. Tiesuolan aiheuttaessa kloridipitoisuuden kasvun laskee I/Cl-suhde kloridipitoisuuden kasvaessa. (Lloyd *et al.* 1982) mukaan jodikonsentraatiot ovat korkeimpia mariinisissa sedimenteissä, joissa on runsaasti orgaanista ainesta. Jodi on myös erittäin helppoliukoinen, joten sedimenteissä oleva jodi päättyy pohjavesiin herkästi.

Kuvasta 38 nähdään, että korkeimmat kloridipitoisuudet omaavilla näytteillä (Hp 103 ja kaivo 210) myös I/Cl-suhde on alhaisin. Tämä kertoo tiesuolan vaikutuksesta. Vähiten kloridia sisältävä havaintopiste 207 puolestaan ei näytä merkkejä tiesuolauksen vaikutuksesta. Myös muiden havaintopisteiden suhteet noudattavat samaa trendiä.



Kuva 38. I/Cl -suhde suhteessa kloridipitoisuuteen Nummenpää–Aakoisissa.

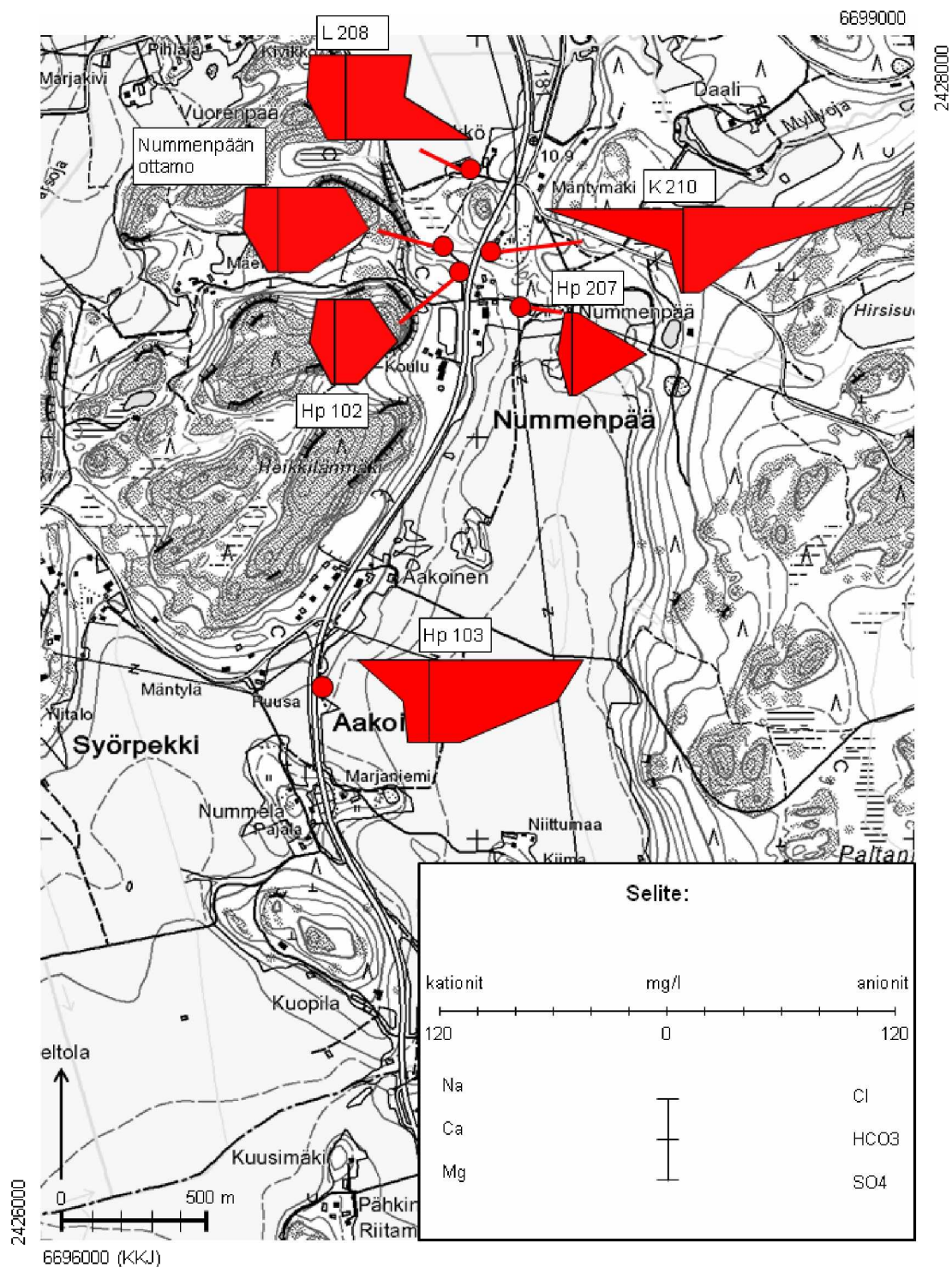
(Olofsson ja Gontier 2002) mukaan toinen parhaimmista ionisuhteista tiesuolan ja reliktisen meriveden aiheuttaman suolaantumisen erottamiseen on Br/Cl -suhde. Se sopii myös jätevesien erottamiseen tiesuolasta, sillä jätevesillä suhde on selvästi korkeampi kuin tiesuolan vaikutuksessa olevissa pohjavesissä. Bromipitoisuudet jäivät kuitenkin Nummenpää–Aakoisissa kahta näytettä lukuun ottamatta alle määrittämissä, joten Br/Cl -suhteen perusteella ei voida juuri tehdä johtopäätöksiä. Lähteen 208 suhde on 0,0074 ja Nummenpään ottamon 0,0053. Olofsson ja Gontier (2002) mukaan makeassa pohjavedessä suhde on usein noin 0,0035, kun taas reliktisten merivesien näytteissä suhde on noin 0,004–0,02. Näihin verrattuna lähteen ja ottamon arvot viittaisivat mahdolliseen reliktisen meriveden vaikutukseen. Pitoisuuksien trendin tarkastelu vaatisi alhaisemman bromipitoisuuksien määrittämissä.

5.1.5 Alueellinen tarkastelu

Sekä pitkän aikavälin kloridiseurantatuloksissa että uusissa pohjavesinäytteissä kaivo 210 ja havaintoputki 103 erottuvat muita korkeamman kloridi- ja natriumpitoisuutensa johdosta. Molemmat näytepisteet sijaitsevat aivan tien 181 vieressä tien itäpuolella. Kaivo 210 sijaitsee jyrkän alamäen jälkeen aivan tien alapuolella. Pienimmät kloridipitoisuudet pitkän aikavälin seurantatuloksissa on havaittu havaintopisteessä 207, joka sijoittuu tien itäpuolelle muutaman sadan metrin päähän tiestä. Hieman korkeammat kloridipitoisuudet on mitattu putkissa 202, 101 ja 104, joista kaksi ensimmäistä sijaitsee (kuva 39) tien länsipuolella, 202 Nummenpään ottamon takana ja 101 aivan tien vieressä. Havaintopiste 104 sijaitsee tien itäpuolella kaikista pohjavesiputkista kauimpana tiestä. Uusien analyysien perusteella pienimmät kloridi- ja natriumpitoisuudet on havaintopisteissä 207 ja 102, joista 102 sijaitsee tien länsipuolella melko lähellä tietä. Kaivossa 210 kloridipitoisuudet näyttävät vaihtelevan selvimmin vuodenaikojen mukaan, joka voi olla merkki siitä, että kloridi on peräisin tiesuolauksesta (Yli-Kuivila *et al.* 1993). Kaivo sijaitsee kaikista havaintopisteistä lähimpänä tietä alarinteessä tieltä katsottuna. Muissa havaintopisteissä vuodenaikaisvaihtelun tulkinta on vaikeaa.

Kuvan 39 kartan ja kuvaajien perusteella selkeimmin alueellisesti näyttäisivät jakautuvan kloridi ja natrium, jotka molemmat ovat suurimmillaan tieltä katsottuna alarinteessä, tien välittömässä läheisyydessä. Kovuus ja kalsiumpitoisuus (taulukko 1) eivät kuitenkaan toisaalta jakaudu samalla tavalla, vaikka tutkimuksissa on havaittu tiesuolauksen nostavan toisinaan natrium- ja kloridipitoisuuksien ohella myös kovuutta (Howard ja Beck 1993, Meriano *et al.* 2009). Tähän on syynä natriumin korvautuminen maaperässä ioninvaihtoreaktioiden tuloksena kalsiumilla, jolloin pohjaveteen rikastuu natriumin sijaan kalsiumia (Appelo ja Postma 1994). Kovuus on suurin havaintopisteessä 103. Lähde 208 ja Nummenpään ottamo sijaitsevat suunnilleen samalla etäisyydellä tiestä ja niissä natrium- ja kloridipitoisuudet ovat keskenään samaa luokkaa (kuva 39). Kalsiumpitoisuudet ovat molemmissa suuremmat kuin havaintopisteessä 103. Pitoisuudet Nummenpään ottamolla ja lähteessä 208 ovat muutoin hyvin samankaltaiset, mutta poikkeuksena on lähteessä selvästi suurin sulfaattipitoisuus sekä Nummenpään ottamolla lähdettä suurempi alkaliteetti. Kauimpana tiestä sijaitsevassa havaintopisteessä 207 lähes kaikki pitoisuudet ovat pienemmät kuin muissa havaintopisteissä. Aluekuvauksessa esitettyjen selvitysten mukaan pohjaveden päävirtaussuunta on silloisesta havaintopisteestä 6, eli melko läheltä Nummenpään ottamoa, kohti etelää. Kaivoista mitatuista pinnoista nähdään kuitenkin, että etenkin alueen pohjoispäässä virtauskuva on monimutkainen (kuva 3). Lisäksi pohjavesialueen pohjoisimman osan oletetaan olevan kalliokynnyksen takana ja lähde sijaitsee siellä. Lähteen pitoisuudet eivät kuitenkaan sulfaattia lukuun ottamatta poikkea muista havaintopisteistä merkittävästi.

Kaivon 210 ja havaintopisteen 103 natrium- ja kloridipitoisuudet näyttäisivät johtuvan tiesuolauksesta niiden sijainnin, sekä myös kaivossa havaitun kloridipitoisuuksien vuodenaikaisvaihtelun perusteella. Vuodenaikaisvaihtelun puuttuminen havaintopisteestä 103 voisi johtua siitä, että savimaa päästää vettä lävitseen hyvin hitaasti. Pienimmät pitoisuudet havaitaan puolestaan kaikkein kauimpana tiestä sijaitsevassa havaintopisteessä 207, tosin tämänkään etäisyys tiestä ei ole kovin suuri. Havaintopiste 207 ei kuvassa 39 esitetyn aineiston perusteella vaikuttaisi olevan hydraulisessa yhteydessä tiehen.



Kuva 39. Vuonna 2010 otettujen näytteen pitoisuuksien alueellinen jakautuminen Nummenpää-Aakoisten pohjavesialueella Stiffin diagrammein esitettyä.

5.1.6 Virhelähteitä

Virhelähteinä on huomioitava pienet näytemäärät ja näytepisteiden vähyys. Pitkäaikaisista kloridiseurantatuloksista havaitaan, että kloridipitoisuudet voivat yhden vuoden aika vaihdella jopa useita kymmeniä milligrammoja litrassa, jolloin näytteenottoajankohta vaikuttaa suuresti ainakin kloridipitoisuuksiin. Esimerkiksi kaivossa 210 on

koko seurantajakson aikana havaittujen minimi- ja maksimipitoisuuksien väli niinkin suuri kuin 294 mg/l. Tällöin useammalla näytteenottokerralla saataisiin luonnollisesti aina luotettavampi tulos. Tästä syystä onkin hyvä, että kloridista on saatavilla myös pitkäaikaista seuranta-aineistoa, jolloin saatuja kloridipitoisuuksia voidaan verrata aiempiin pitoisuuksiin. Myös näytepisteiden määrässä enemmän olisi aina parempi. Tästä voisi olla hyötyä etenkin selvitetessä pitoisuuksien riippumista etäisyydestä tiestä. Vaikka näytteiden määrä jäikin suunniteltua yhtätoista näytettä pienemmäksi, voidaan saatua näytemäärää silti pitää kohtuullisena.

5.1.7 Maatutkaluotaukset/Hydraulinen yhteys

Maatutkaluotauksilla ei saatu merkittävästi lisätietoa alueen hydrologisista olosuhteista. Luotausprofiilien perusteella pintamaa-aines on monin paikoin savinen, eikä tutka-aalto kykene läpäisemään savea. Samoin aluekuvauksessa esitettyjen aiempien selvitysten perusteella vettä johtavat kerrokset ovat muodostuman itäisellä puolella savikerrosten peitossa. Kemiön–Sauvon–Paimion maantien parantamisen yhteydessä tehtyjen pituusleikkauspiirrosten (Tie- ja vesirakennuslaitos 1970a, 1970b) mukaan Aakoisten alueella maa-aines on pääosin savea, muuttuen hiekkaiseksi hiedaksi ja hietaiseksi hiedaksi kohti havaintopisteelle 104 vievän tien risteystä. Myös linjan 1 profiiliin (kuva 25) mukaan linjan alkupäässä (markkerille 1 asti) materiaali on hyvin vettä läpäisevää. Pohjavedenpinta ei kuitenkaan ole erotettavissa. Markkerilta 1 alkaen tutka-aalto ei kykene läpäisemään yhtä syvälle, vaan syvyyskaalan puolivälissä alkaa näkyä tuplaheijastusta, joka tarkoittaa materiaalin olevan savea tai muuta huonosti vettä johtavaa ainesta. Linjan 3 profiiliin (kuva 25) mukaan maa-aines on pääosin hyvin läpäisevää, mitä tukevat myös tien kohdalta olevat kairaustiedot. Markkerien 3-5 välillä ja markkerin 7 jälkeen, mentäessä kohti pohjavesialueen itäistä osaa, materiaali sen sijaan on huonommin läpäisevää. Linjan 4 profiiliin (kuva 26) perusteella materiaali on tien itäpuolella pintaosista hyvin läpäisevää, mutta hieman syvemmällä huonosti läpäisevää. Tien toisella puolella maa-aines sen sijaan näyttää syvemmälläkin hyvin läpäisevältä. Savi on hyvin heikosti vettä johtavaa ainesta, joten on mahdollista, ettei tieltä pintavesien mukana kulkeutuva suola imeytyisi saman tien pohjaveteen vaan kulkeutuisi pintavalunnan mukana kauemmaksi, jos pohjavedenpinnan yläpuolinen maa-aines on savea. Hiekkainen hietä ja hietainen hiekka sen sijaan läpäisevät vettä hyvin. Näistä paikoista pintavesien imeytyminen pohjaveteen on todennäköistä.

Aluekuvauksessa esitettyjen koepumppausten perusteella tien molemmin puolin valitsee hydraulinen yhteys, sillä Aakoisilla pisteessä 118 suoritettujen koepumppauksien vaikutus ulottui myös tien toisella puolella sijaitsevaan kaivoon 18 (kuva 3). Tämän lisäksi koepumppauspisteestä on koepumppauksen perusteella hydraulinen yhteys sen kaakkoispuolella oleviin kaivoihin ja havaintoputkiin. Lievempi vaikutus havaittiin myös koillissuunnassa oleviin putkiin. Nämä alueet sijaitsevat tiehen nähden alarinteessä, joten pintavedet todennäköisesti valuvat tälle alueelle. Jos pintavedet pääsevät jostain paikasta imeytymään pohjaveteen, se pääsee leviämään hydraulisen yhteyden omaavan maakerroksen alueelle, etenkin pohjaveden virtaussuunnan suuntaisesti.

Aluekuvauksessa esitettyjen hydrogeologisten tutkimusten perusteella pohjavesimuodostuman muodostavan rantakerrostuman vettä johtavan maakerroksen pohjavedenpinnan alapuolinen maakerros on paksuimmillaan Aakoisten koepumppauspisteiden, Nummenpään koepumppauspisteiden lähistöllä sijaitsevan havaintoputken 115 sekä havaintoputken 110 ja kairauspisteiden 105 muodostamalla alueella. Ainakin pis-

teiden 53, Aakoisten ottamon kohdalla sijaitsevan pisteen 118 ja Nummenpään ottamon lähistöllä sijaitsevan pisteen 6 välillä on näiden tutkimusten perusteella hydraulinen yhteys. Aakoisten alueella maakerrosten hydrauliset yhteydet ovat huonot. Maantie kulkee tämän alueen poikki, jolloin pintavesien kulkeutuminen tällä alueella tieltä pohjaveteen on mahdollista, ellei pintamaa ole niin huonosti vettä läpäisevää, että vedet kulkeutuisivat pohjavesialueen ulkopuolelle. Tutkimusten mukaan kuitenkin jopa yli 50 % tiesuolasta jää maaperään ja sitä kautta pohjavesiin tien välittömässä läheisyydessä (Howard ja Haynes 1993).

Tienparannuksen yhteydessä tehtyjen leikkauspiirrosten (Tie- ja vesirakennuslaitos 1970a, 1970b) mukaan pintamaa on tällä alueella tien kohdalla havaintopisteelle 104 vievän tien risteyksessä hietaista hiekkaa ja sen jälkeen noin 200 metriä tietä pitkin kohti pohjoista savi- ja hietapitoista moreenia, joka on useimmiten melko hyvin vettä läpäisevää. Tämän jälkeen aines muuttuu kohti koulun urheilukenttää mentäessä pääosin hiekaksi ja soraiseksi hiekaksi, jonka vedenjohtokyky on erittäin hyvä. Urheilukentältä lähemmäs Nummenpään ottamoa mentäessä tien kohdalla materiaali on edelleen hiekkaa muuttuen sen jälkeen lyhyen hiekkamoreenia olevan alueen jälkeen saveksi kohti pohjavesialueen pohjoisreunaa. Myös aluekuvauksessa esitettyjen selvitysten perusteella Nummenpään alueella noin 1 neliökilometrin kokoisesta tehokkaasta pohjaveden muodostumisalueesta noin 35 % on hiekkavaltaista maaperää ja loput pintaosistaan lajittunutta moreenia. Näillä perustein Nummenpään ottamon ja koulun välisellä alueella pintavesien pääsy tieltä pohjaveteen on mahdollista, tosin on huomioitava, etteivät tien parannuksen yhteydessä tehdyt kairaukset ulotu kovin syvälle maan pinnasta. Lisäksi pituusleikkauspiirrosten mukaan tietä on tasoitettu monin paikoin, jolloin alkuperäisen maa-aineksen päälle on lisätty täytemaata, joka saattaa olla hyvinkin tiivistä.

Linjan 6 profiilin (kuva 27) syvyysulottuvuus kasvaa ennen tien ylitystä, joten tässä kohtaa materiaali muuttuu paremmin tutka-aaltoja ja vettä läpäiseväksi. Tien kohdalla, markkerien 2 ja 3 välissä, syvyysulottuvuus pienenee selvästi ja paranee jälleen tien jälkeen jonkin verran. Tien jälkeen, markkerilta 3 eteenpäin, profiilissa on havaittavissa jatkuva pinta, joka ensin markkerivälillä 3–4 nousee ja sen jälkeen tasoittuu ollen markkerin 5 eli havaintoputken 207 kohdalla noin kahden metrin syvyydessä. Tämä pinta voisi olla tulkittavissa pohjavedenpinnaksi, jolloin pinta jatkuisi yhtenäisenä tieltä havaintoputkelle 207. Pinnan korkeus sopii yhteen myös putkesta mitatun pohjavedenpinnankorkeuden kanssa. Tästä näkökulmasta katsottuna suolan kulkeutuminen havaintoputkelle 207 olisi mahdollista. Toisaalta pohjaveden analyysitietojen mukaan havaintopisteessä 207 kloridipitoisuudet ovat olleet alhaisimmat verrattuna muihin havaintopisteisiin.

Nummenpään ottamolle vievää tietä pitkin kulkevan maatutkalinjan 9 profiilissa syvyysulottuvuus on parhaimmillaan maantien 181 vieressä, jonka jälkeen se hieman huononee (kuva 28). Hyvin läpäisevää maata on kuitenkin noin 10 metrin kerros tieltä ottamolle asti. Markkerin 1 kohdalla olevasta havaintopisteestä 102 on mitattu pohjaveden pinnaksi 7,05 metriä putken päästä, mutta profiilissa ei ole havaittavissa pohjavedenpintaa.

Aluekuvauksessa esitettyjen hydrologisten tutkimusten perusteella Nummenpään koepumppauspisteen 200 ja tien toisella puolella sijaitsevien kaivojen välillä saattaa olla hydraulinen yhteys. Sen perusteella jostain tältä väliltä pohjaveteen päässyt suola pääsee kulkeutumaan koko kyseiselle alueelle.

5.2 Harjunummi

5.2.1 Kloridiseuranta

Kloridipitoisuudet Hinnerjoen ottamolla (kuva 18) ovat olleet ELY-keskuksen suorittaman seurannan aikana tasaisia, mutta hieman korkeita. Huhtikuussa 2010 otetun näytteen kloridipitoisuus on jonkin verran aiempia pitoisuuksia alhaisempi. Yleinen trendi on laskeva. Kaikki arvot ylittävät talousvedelle asetetun 25 mg/l ohjearvon.

Havaintopisteen 101 (205001) (kuva 19) näytteiden kloridipitoisuudet ovat olleet pääosin hyvin tasaisia. Vuodesta 2006 alkaen pitoisuuksissa voidaan havaita enemmän vaihtelua. Korkeimmat pitoisuudet eivät kuitenkaan ole ajoittuneet selkeästi johonkin tiettyyn vuodenaikaan. Pitoisuuksien yleinen trendi on ollut hieman nouseva. Yli puolet mitatuista kloridipitoisuuksista ylittää 25 mg/l pitoisuusrajan.

Havaintopisteen 102 (205002) (kuva 20) kloridipitoisuudet ovat olleet melko vaihtelevia ja matalimmat pitoisuudet osuvat useimmiten syksyyn tai talveen, poikkeuksena vuosi 1999. Korkeimmat pitoisuudet on mitattu yhtä poikkeusta (talvi 1995) lukuun ottamatta kesällä. Huhtikuun 2010 pitoisuus on suuruusluokaltaan samanlainen, kuin matalimmat aiemmalta seurantajaksolta. Kloridipitoisuuksien yleinen trendi on laskeva. Suurin osa mitatuista kloridipitoisuuksista ylittää 25 mg/l rajan.

Myös havaintopisteen 103 (205003) (kuva 21) pitoisuudet ovat olleet vaihtelevia. Korkeammat pitoisuudet on mitattu kesällä tai alkusyksyllä ja matalammat pitoisuudet talvella. Kevään 2010 kloridipitoisuus on pienempi, kuin aiemmat pitoisuudet. Yleinen trendi kloridipitoisuuksissa on laskeva. Myös tämän näytepisteen pitoisuudet ovat pääosin hieman korkeammat kuin 25 mg/l.

Havaintopisteen 104 (205004) (kuva 22) kloridipitoisuudet ovat melko matalia. Kaikki havaintopisteessä 104 mitatut pitoisuudet jäävät alle 25 mg/l rajan. Talvien pitoisuudet ovat keskenään samankaltaisia ollen jonkin verran korkeampia kuin kesäisin. Kesien pitoisuudet ovat myös keskenään melko samankaltaisia, vaikkakin kesän 1998 pitoisuus on enemmän samaa luokkaa talvien pitoisuuksien kanssa. Kaiken kaikkiaan vaihtelu on melko pientä. Kloridipitoisuuksien yleinen trendi on hieman nouseva.

Havaintopisteen 105 (205005) (kuva 23) kloridipitoisuudet ovat tasaisia, eikä niissä ole juuri nähtävissä vaihtelua esimerkiksi eri vuodenaikojen välillä. Lähes kaikki havaitut pitoisuudet jäävät alle 25 mg/l pitoisuusrajan. Huom. havaintopisteen 105 sijainti jäi tuntemattomaksi.

5.2.2 Vertailu talousvedelle asetettuihin ohje- ja raja-arvoihin sekä alueellisiin taustapitoisuuksiin

Uusien pohjavesinäytteiden vesi on kaikissa näytepisteissä melko kirkasta, vaikka havaintopisteen 103 (205003), havaintopisteen 102 (205002) ja kaivon vesien sameusarvot ylittävät talousvedelle asetetun suosituksen (STM asetus 41/2001, liite 3). Raudan suhteen kaikkien näytteiden pitoisuudet ovat pieniä verrattuna suositusylärajaan. Kloridipitoisuudet jäävät teknis-esteettisen ohjearvon (25 mg/l) alle. Sekä sulfaatti- että nitraattipitoisuudet ovat kaikissa näytteissä alhaisia verrattuna ohje- ja raja-arvoihin. Myöskään fluorin raja-arvo ei ylity missään näytteistä. Sähkönjohtavuuden arvot ovat yli suositusylärajan Hinnerjoen ottamolla, havaintopisteessä 101

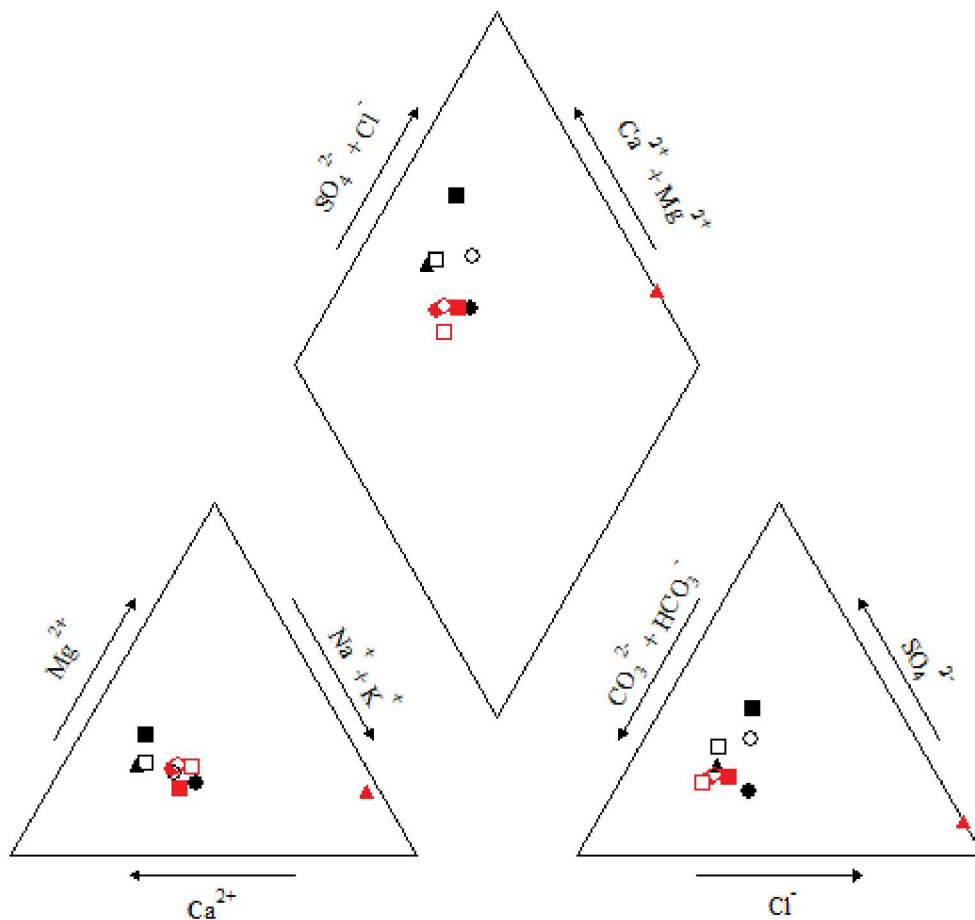
(205001) ja havaintopisteessä 102 (205002). Kaiken kaikkiaan Harjunummen pohjavesialueen veden laatu on talousvedelle asetettuihin ohje- ja raja-arvoihin verrattuna hyvä.

Verrattaessa taulukossa 2 esitettyjä pitoisuuksia Lahermo *et al.* (1990) selvityksessä esitettyihin alueellisiin taustapitoisuuksiin havaitaan, että kloridipitoisuudet ovat kaikissa näytepisteissä kaivoa lukuun ottamatta hieman korkeammat, kuin esitetty noin 10–12 mg/l. Alueelle tyypilliset natriumpitoisuudet (10–15 mg/l) ylittyvät vain Hinnerjoen ottamon näytteessä. Kaivon pitoisuus on puolestaan vain noin viidesosan taustapitoisuuteen verrattuna. Kalsiumpitoisuus on taustapitoisuuteen nähden (22–25 mg/l) kaivossa noin kolmasosan ja korkeimmillaan havaintopisteessä 101 (205001), jonka pitoisuus on taustaan nähden alle kaksinkertainen. Näytepisteiden 101 (205001) ja 102 (205002) magnesiumpitoisuudet ovat alueellisia taustapitoisuuksia (3,6–4,6 mg/l) korkeammat, ollen maksimissaan noin kolminkertaisia. Kaivossa magnesiumpitoisuus on alhaisempi kuin alueellinen taustapitoisuus. Sulfaattipitoisuus näytepisteessä 102 (205002) on noin kolminkertainen verrattuna alueelliseen taustapitoisuuteen ja havaintopisteessä 101 (205001) sulfaattipitoisuus on suunnilleen kaksinkertainen. Kaivossa sulfaattipitoisuus on noin puolet esitetystä taustapitoisuudesta 18–22 mg/l. Nitraattipitoisuudet ovat kaikissa näytepisteissä, kaivoa lukuun ottamatta jopa lähes kymmenkertaisia alueelliseen taustapitoisuuteen nähden. Kaivossa taustapitoisuus 0,9–1,9 mg/l ylittyy maltillisemmin.

Sähkönjohtavuuden arvot ovat Harjunummen näytteissä taustapitoisuuteen nähden korkeampia havaintopisteissä 101 (205001) ja 102 (205002) sekä Hinnerjoen ottamolla. Kaivosta otetun näytteen sähkönjohtavuus on puolestaan noin kolmasosan alueellisesta taustapitoisuudesta. Kaivon, Hinnerjoen ottamon ja havaintopisteen 103 vesi on pehmeää, joka on alueelle tyypillistä. Havaintopisteen 102 ja 101 vesi on keskikovaa.

5.2.3 Piperin diagrammi

Pohjavesinäytteiden pääionien suhteellisia osuuksia voidaan tarkastella ja verrata sekä meriveden että keskimääräisen suomalaisen pohjaveden koostumukseen Piperin diagrammin avulla. Kaikista Harjunummen pohjavesialueelta otetuista näytteistä piirrettiin myös Piperin diagrammi kaliummäärityksen puuttumisesta huolimatta. Näytteiden kationi-anionitasapainoista laskettu elektroneutraalisuusehto toteutuu Hinnerjoen ottamon, havaintopisteen 103 (205003) ja havaintopisteen 101 (205001) näytteissä, joten näitä voidaan pitää edustavina kaliumin puuttumisesta huolimatta. Havaintopisteen 102 (205002) ja kaivon näytteissä elektroneutraalisuusehto ei aivan täyty, joten näiden osalta tämä on huomioitava pienenä epävarmuustekijänä johtopäätöksiä tehdessä. Kaikkien näytteiden elektroneutraalisuudet ovat kuitenkin sen verran hyvät, että Piperin diagrammi on käyttökelpoinen. Piperin diagrammi on esitetty kuvassa 40.

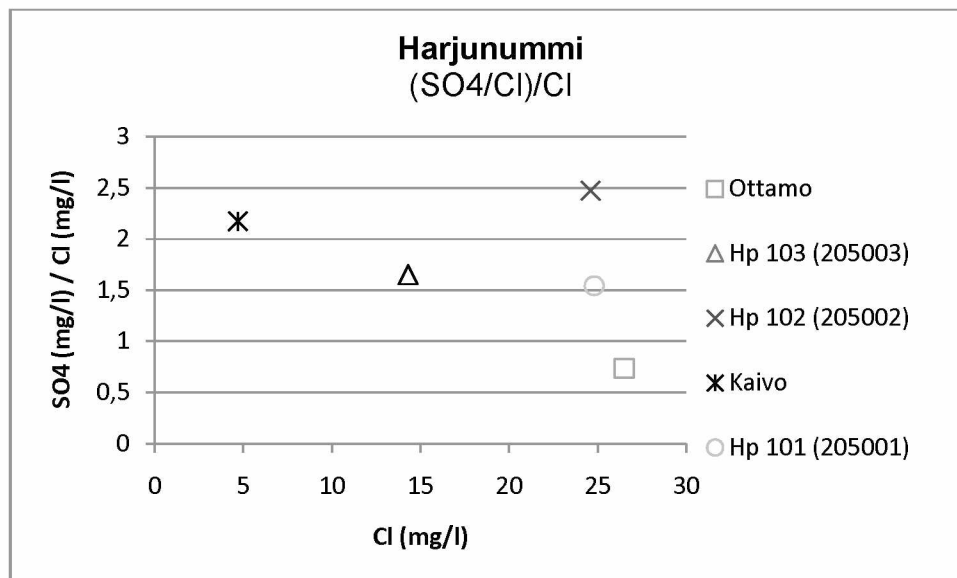


Kuva 40. Harjunummen pohjavesinäytteet Piperin diagrammissa. Punainen kolmio edustaa meriveden koostumusta (Mason, 1966) ja muut punaiset keskimääräistä pohjaveden pitoisuutta Suomessa lähteissä ja rengaskaivoissa hiekka- ja sora- ja savimuodostumissa sekä savimuodostumissa (Lahermo et al. 1990, pitoisuudet esitetty liitteessä 4). Muut merkit: musta neliö= Hp 205002, valk. neliö= kaivo, musta ympyrä= Hinnerjoen ottamo, valk. ympyrä= Hp 205003 ja musta kolmio= Hp 205001.

Diagrammista nähdään, että kaikki näytteet asettuvat kohtalaisen lähelle. Ne poikkeavat selvästi meriveden koostumuksesta. Poikkeamat keskimääräisestä suomalaisesta pohjavedestä ovat selvästi pienemmät. Verrattuna keskimääräiseen pohjaveden pitoisuuteen kaikki näytteet Hinnerjoen ottamoa lukuun ottamatta ovat hieman enemmän Ca-SO₄-tyypin vesiä. Kaivo ei kationien ja anionien suhteita tarkasteltaessa selkeästi poikkea muista näytteistä, vaikka absoluuttisia pitoisuuksia tarkasteltaessa onkin selvästi erilainen kuin muut.

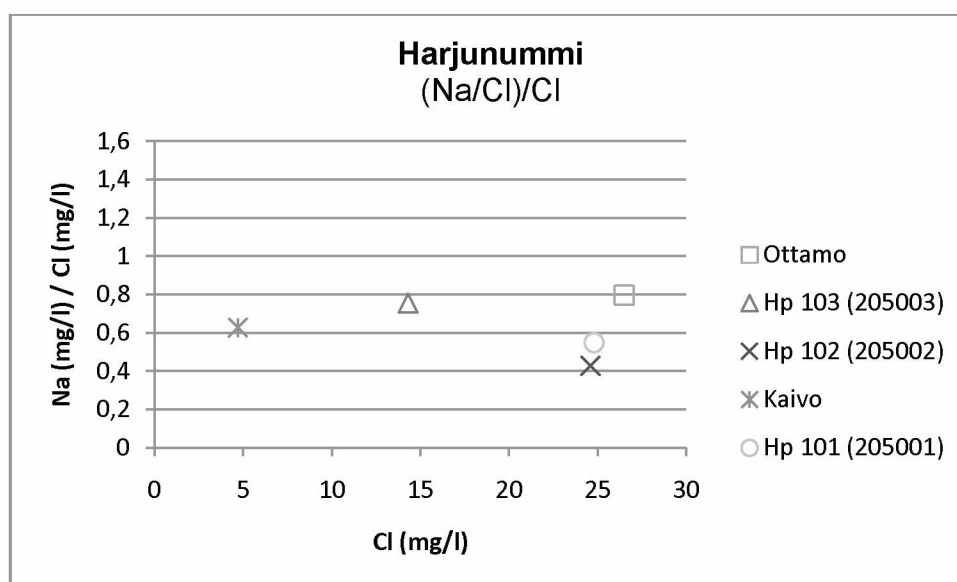
5.2.4 Ionisuhteet

Harjunummelta otettujen näytteiden SO₄²⁻/Cl⁻-suhteet (kuva 41) ovat korkeita verrattuna Olofssonin ja Gontierin (2002) esittämiin reliktisen meriveden pitoisuuksiin sekä myös Nummenpää–Aakoisista (kuva 34) otettujen näytteiden pitoisuuksiin. Tämä viittaa mariinisten savien vahvaan vaikutukseen alueella.



Kuva 41. SO₄²⁻/Cl⁻-suhteet suhteessa kloridipitoisuuteen Harjunummella.

Kuvasta 42 nähdään, että Na⁺/Cl⁻-suhteet ovat Harjunummen näytteissä Nummenpää–Aakoisten (kuva 35) pohjavesien suhteita tasaisemmat. Vähiten kloridia sisältävä näyte (kaivo) ei selkeästi poikkea muista, vaikka tiesuolaus ei todennäköisesti vaikuta siihen. Suuruudeltaan ne ovat samaa luokkaa kuin Olofssonin ja Gontierin (2002) esittämät pitoisuudet (0,4–0,8) alueella, joka sijaitsee korkeimman muinaisen (viime jääkauden jälkeisen) merivedenpinnan alapuolella. Toisaalta tiesuolauksen vaikutuspiirissä olevilla näytteillä suhteet vaihtelivat välillä 0,2–1,5, joten näiden lähteiden erottaminen toisistaan tällä perusteella on hankalaa. Tulkintaa hankaloittaa myös ioninvaihtoreaktioiden vahva vaikutus natriumpitoisuuksiin.

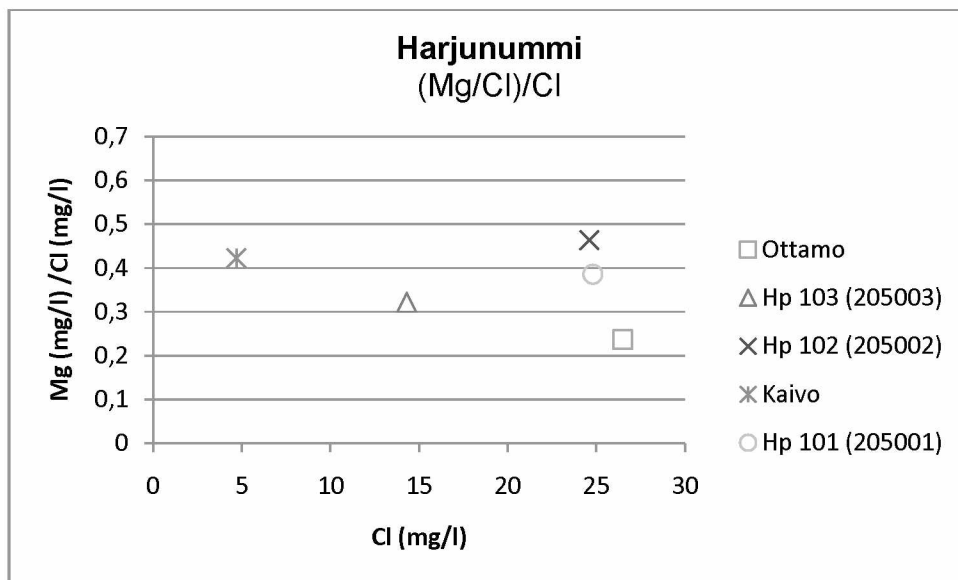


Kuva 42. Na⁺/Cl⁻ -suhde suhteessa kloridipitoisuuteen Harjunummella.

Mg²⁺/Cl⁻-suhteet ovat Harjunummella (kuva 43) korkeammat kuin Nummenpää–Aakoisilla (kuva 36). Kuten kappaleessa 5.1.4. todettiin, aktiivisina ioninvaihtajina toimivissa savisissa muodostumissa Mg²⁺/Cl⁻-suhteet ovat pohjavesissä muita muo-

dostumia korkeammat. Lisäksi niissä tiesuolan lisäys voi aiheuttaa magnesiumpitoisuuden nousua pohjavesissä, kun taas karkeista maa-aineksista koostuvissa, pienen ioninvaihtokapasiteetin omaavissa muodostumissa vaikutus pohjavesiin on useimmiten päinvastainen (Olofsson ja Gontier 2002).

Harjunummen pohjavesinäytteiden Mg^{2+}/Cl^- -suhteiden trendi on hieman laskeva suhteessa kloridipitoisuuksien nousuun, mutta koska kaiken kaikkiaan kloridipitoisuudet pysyvät melko matalina, ei trendin perusteella voida tehdä johtopäätöksiä. On myös vaikea sanoa, johtuvatko melko korkeat suhteet pelkästään mariinisten savien aktiivisista ioninvaihtoprosesseista vai onko tiesuolaus edelleen kiihdyttänyt niitä.

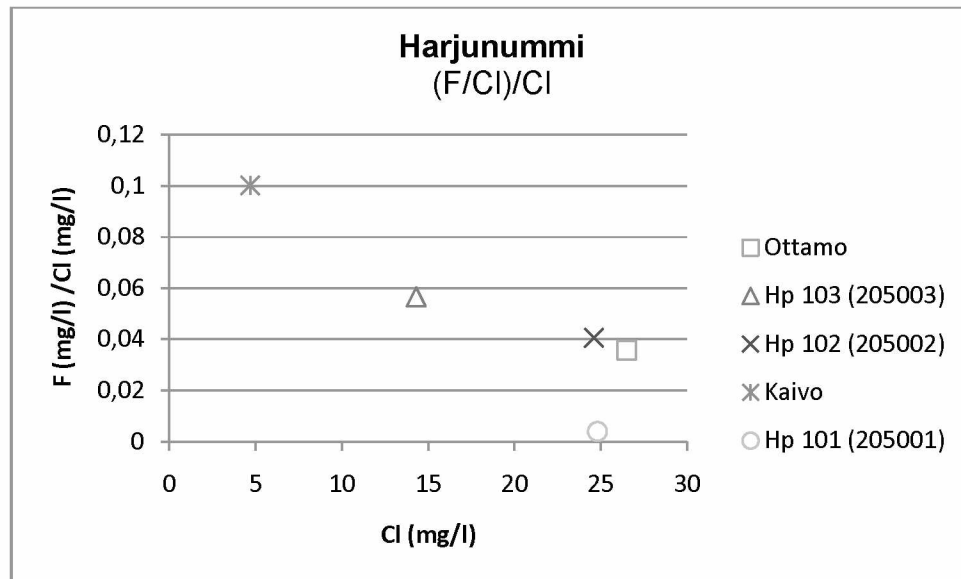


Kuva 43. Mg^{2+}/Cl^- -suhde suhteessa kloridipitoisuuteen Harjunummella.

Fluorin ja kloridin suhdetta tarkasteltaessa Harjunummella on otettava huomioon kallioperän mahdollisesti sisältämä fluori, sillä alueen kallioperä on pääosin rapakivigraniittia (Kielosto *et al.* 2003). Olofssonin ja Gontierin (2002) mukaan F/Cl^- -suhde on kuitenkin käyttökelpoinen, jos fluoripitoisuuden voidaan olettaa olevan vakaa. Näin pienellä pohjavesialueella voidaan olettaa, ettei fluoripitoisuudessa ole tulkintaa häiritsevää vaihtelua. Kallioperän erilaisuudesta johtuen Harjunummen ja Nummenpää-Aakoisten suhteita ei kuitenkaan tässä vertailla keskenään.

F/Cl^- -suhteissa havaitaan selvästi laskeva trendi kloridipitoisuuden noustessa (kuva 44). Korkein suhde on vähiten kloridia sisältävällä näytteellä (kaivo), johon tiesuola ei todennäköisesti vaikuta, kun taas enemmän kloridia sisältävillä näytteillä on pienimmät suhteet. Tällä perusteella tiesuolaus näyttäisi vaikuttavan suhteeseen. Kaiken kaikkiaan suhteet ovat kuitenkin korkeita, eikä voida sanoa johtuuko se kallioperän, mariinisten sedimenttien vai reliktisen meriveden vaikutuksesta.

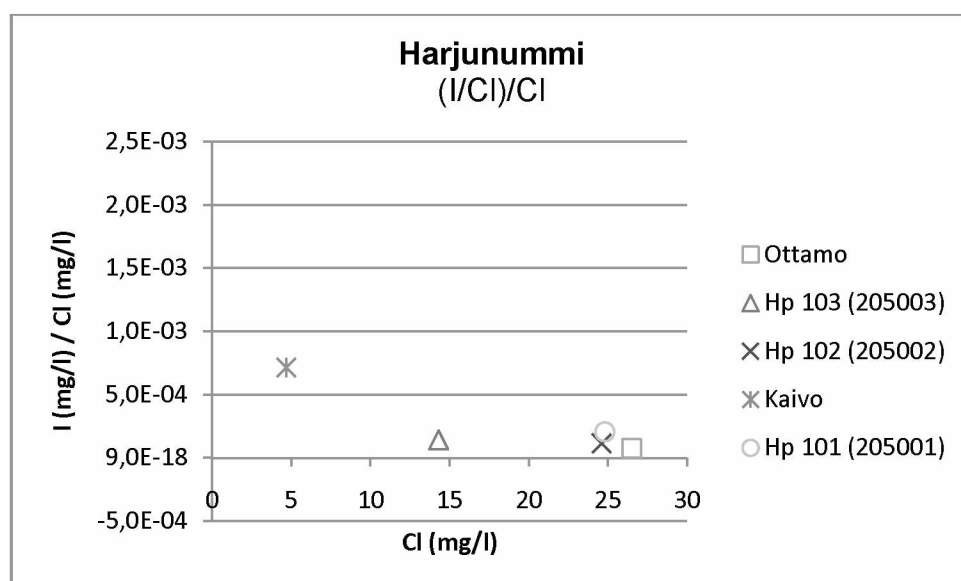
Kaikkien vähiten fluoria sisältävän näytteen, havaintopisteen 101 (205001) fluoripitoisuus on alle määritysrajan, joten kuvaajassa F/Cl^- -suhde on laskettu olettamalla fluoripitoisuus määritysrajan suuruiseksi (0,1 mg/l). Tällöin suhde voi olla pienempi kuin kuvaajassa nähtävä. Tämä ei kuitenkaan häiritse tulkintaa, sillä kyseisen näytteen suhde on kaikkein pienin.



Kuva 44. F/Cl⁻-suhteet suhteessa kloridipitoisuuteen Harjunummella. Huom. havaintopisteen 101 suhde on laskettu määritysrajan mukaan.

Kuvasta 45 nähdään, että I/Cl⁻ -suhteen trendi on laskeva. Alhaisimman kloridipitoisuuden omaava näyte (kaivo) poikkeaa muista suuremmalla I/Cl⁻-suhteellaan. Kaiken kaikkiaan suhteet ovat hieman alhaisempia kuin Nummenpää-Aakoisissa (kuva 38). Koska kaikkien paitsi kaivon suhteet ovat hyvin matalat, näyttää tämän perusteella siltä, että tiesuolaus vaikuttaa alueen kloridipitoisuuksiin.

Havaintopisteen 103 ja Hinnerjoen ottamon niiden I/Cl⁻-suhteet on laskettu jodipitoisuuden määritysrajan mukaan (2 µg/l), sillä niiden jodipitoisuudet ovat alle määritysrajan. Siten niiden I/Cl⁻-suhteet ovat maksimissaan niin suuret kuin kuvaajassa. Harjunummen näytteissä bromipitoisuus on kaikissa näytteissä alle määritysrajan, joten Br/Cl⁻-suhdetta ei voida käyttää apuna suolaantumisen syyn etsimisessä.

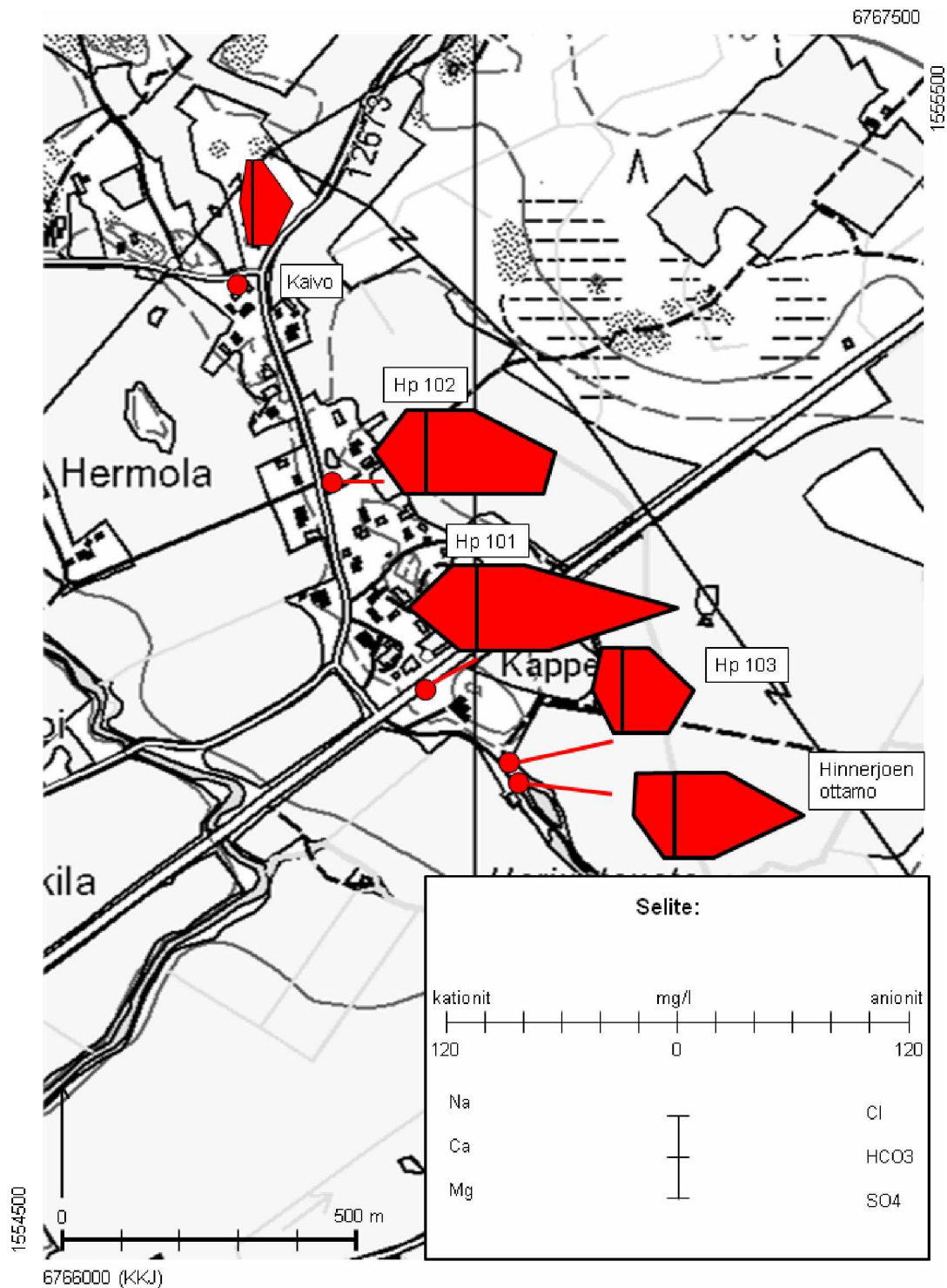


Kuva 45. I/Cl⁻ -suhteet suhteessa kloridipitoisuuteen Harjunummella. Havaintopisteen 103 ja ottamon suhteet on laskettu olettaen jodipitoisuus määritysrajan suuruisiksi.

5.2.5 Alueellinen tarkastelu

Pitkän aikavälin seurantatulosten perusteella kloridia on ollut vähiten havaintopisteessä 104 (205004). Eniten kloridia on ollut keskimäärin Hinnerjoen ottamolla. Seuraavaksi eniten 102, 101 ja 103, joiden välillä keskimääräisissä kloridipitoisuuksissa ei ole suuria eroja. Vuodenaikaisvaihtelua voisi esiintyä havaintopisteissä 102 (205002), 103 (205003) ja 104 (205004). Nämä putket sijaitsevat kuitenkin kauempana tiestä, kuin Hinnerjoen ottamo tai aivan tien läheisyydessä sijaitseva 101 (205001), joissa vuodenaikaisvaihtelua ei näyttäisi esiintyvän.

Kuvan 46 kartan ja kuvaajien perusteella selvimmin havaittavissa oleva alueellinen piirre on kaivon muita havaintopisteitä alhaisemmat pitoisuudet. Kloridi- ja natriumpitoisuudet eivät selkeästi näytä riippuvan etäisyydestä tiestä. Kalsium on suurimmillaan tien vieressä sijaitsevassa havaintopisteessä 101 (205001). Sulfaattia on muita enemmän havaintopisteissä 101 (205001) ja 102 (205002). Havaintopisteessä 101 (205001) on myös muita suurempi alkaliteetti. Kaivon poikkeaminen muista havaintopisteistä voisi selittyä sillä, että aiemmin tehtyjen koepumppausten perusteella se sijaitsee kalliokynnyksen takana. Koepumppauksen perusteella muut havaintopisteet sen sijaan ovat hydraulisessa yhteydessä toisiinsa. Pohjaveden päävirtaussuunta on aluekuvauksessa esitettyjen hydrogeologisten tutkimusten mukaan luoteesta kaakkoon. Koska kloridia ja natriumia (ja muita ioneja) on melko saman verran kaikissa muissa havaintopisteissä paitsi selkeästi poikkeavassa kaivossa, on mahdollista, että pitoisuudet johtuvat tiesuolauksesta ja liikenteestä (Olofsson ja Sandström 1998). Pienet pitoisuuserot voivat johtua pienistä eroavaisuuksista maaperän rakenteessa. Sama tekijä voi selittää myös sen, ettei kloridia ole vähemmän pohjaveden virtaussuunnan yläpuolella sijaitsevassa havaintopisteessä verrattuna niihin havaintopisteisiin, jotka sijaitsevat tien eteläpuolella, jonne pohjavesi virtaa. On ehkä mahdollista, että myös pohjavesisuojauksen asentaminen vaikuttaa jo sen verran, että tiestä aiheutuneet pitoisuudet ovat tasoittuneet pohjavesivarastossa, kun uutta pintavettä ei ole enää päässyt tieltä pohjaveteen. Tosin selvää alueellista jakautumista ei ole havaittavissa ennen pohjavesisuojauksen asentamista kerätystä kloridiseuranta-aineistostakaan.



Kuva 46. Vuonna 2010 otettujen pohjavesinäytteiden pitoisuuksien alueellinen jakautuminen Harjunummen pohjavesialueella Stiffin diagrammein esitettyinä.

5.2.6 Virhelähteitä

Virhelähteinä on huomioitava pienet näytemäärät ja näytepisteiden vähyys. Pitkäaikaisista kloridiseurantatuloksista havaitaan, että kloridipitoisuudet voivat yhden vuoden aikana vaihdella jopa useita kymmeniä milligrammoja litrassa (esim. näytepiste 101 (205001) vaihteluväli on ollut 65 mg/l), jolloin näytteenottoajankohta vaikuttaa

taa suuresti ainakin kloridipitoisuuksiin. Tällöin useammalla näytteenottokerralla saataisiin luonnollisesti aina luotettavampi tulos. Tästä syystä onkin hyvä, että kloridista on saatavilla myös pitkäaikaista seuranta-aineistoa, jolloin saatuja kloridipitoisuuksia voidaan verrata aiempiin pitoisuuksiin. Lisäksi tulos on aina sitä parempi, mitä useampia näyttepisteitä on käytettävissä.

5.2.7 Maatutkaluotaukset/Hydraulinen yhteys

Maatutkaluotausten avulla ei saatu Harjunummelta merkittävästi uutta tietoa alueen hydrogeologisista olosuhteista. Havaintopisteestä 101 (205001) ottamolle menevän linjan 10 (sama kuin linja 1) (kuva 32) profiilissa syvyysulottuvuus on erittäin huono markkerille 2 eli havaintopisteelle 103 (205003) asti. Markkerin 2 jälkeisellä profiilin osalla on nähtävissä suorahko pinta, joka leikkaa laskevaa pintaa ja saattaisi olla pohjaveden pinta. Tätä pintaa ei kuitenkaan näy kuin lyhyeltä matkalta. Aluekuvauksessa esitettyjen aiempien hydrogeologisten tutkimusten yhteydessä tehtyjen kairauksen mukaan linjan 10 markkerin 2 jälkeen kohdalle osuvassa kairauspisteessä materiaali on lähes yksinomaan karkeaa hiekkaa ja osittain soraa. Profiilin alun heikko syvyysulottuvuus ja nähtävissä oleva laskeva pinta ovat ristiriidassa kairauksien tulosten kanssa. Kairauksen perusteella maaperässä ei olisi mitään selkeästi poikkeavaa kerrosta. Laskeva pinta on myös liian jyrkkä ollakseen pohjaveden pinta. Alun heikko syvyysulottuvuus johtuu todennäköisesti pohjavesisuojuuksesta.

Linjan 2 (kuva 30) varrelle osuvissa kairauspisteissä pintamaa on 1–2,4 metrin syvyydelle asti silttiä, joka on huonosti vettä läpäisevää. Myös tutka-aalto läpäisee sitä heikosti. Linjan 2 syvyysulottuvuus onkin heikko. Linjan 2 profiilissa näkyy linjan puolivälissä (markkerien 4 ja 5 välillä) alkava tasainen pinta. Linja 3 jatkuu linjan 2 lopusta. Linjan 3 profiilin alkuosa onkin jälleen tuplaheijastusta (kuva 30). Materiaali on siten tien molemmin puolin erittäin huonosti vettä läpäisevää, mikä voi johtua pohjavesisuojuuksen asentamisesta. Linjan 3 profiilissa havaitaan tasainen jatkuva pinta, joka alkaa linjan alkupäässä (hieman ennen markkeria 1) ja lakkaa näkymästä hieman ennen linjan loppua (markkerin 3 jälkeen). On vaikea sanoa voiko linjojen 2 ja 3 profiilien pinta olla pohjaveden pinta, sillä molemmissa profiileissa pinta vain lakkaa näkymästä sen sijaan, että se sitä selvästi leikkaisi jokin toinen pinta, joka siis estäisi pohjavedenpinnan jatkumisen. Pohjavesisuojuuksen takia ei voida nähdä, jatkuisiko pinta profiilin 2 lopusta profiilin 3 alkuun. Jos pinta jatkuisi yhtenäisenä tien molemmin puolin, olisi suolan kulkeutuminen tieltä pohjaveteen mahdollista. Tietysti nyt pohjavesisuojaus estää tämän. Pohjavesialueen reunat näyttäisivät profiilien perusteella olevan tien pohjoispuolella olevassa osassa melko savipitoista materiaalia. Keskeisellä materiaali näyttää karkeammalta.

Linjan 4 profiilin alkupuolella, hieman havaintoputken 102 (205002) kohdalla olevan markkerin 3 jälkeen alkaa myös tasainen pinta, jota ei tosin pysty linjan loppuun asti näkemään. Kyseinen pinta kuitenkin saattaisi olla pohjaveden pinta, sillä sen alkamiskohdassa markkerin 3 lähistöllä on Euran ja Lapin kuntien pohjavesiselvityksessä arveltu olevan kalliokynnys, jonka taakse olevaan kaivoon nykyisen Hinnerjoen otamon lähistöllä tehty koepumppaus ei vaikuttanut. Linjan 7 profiilissa ennen markkeria 1 (linjan 6 lopetusaste) havaittava rakenne puolestaan saattaisi olla pohjavesiselvityksessä mainittu mahdollinen orsivesikerros.

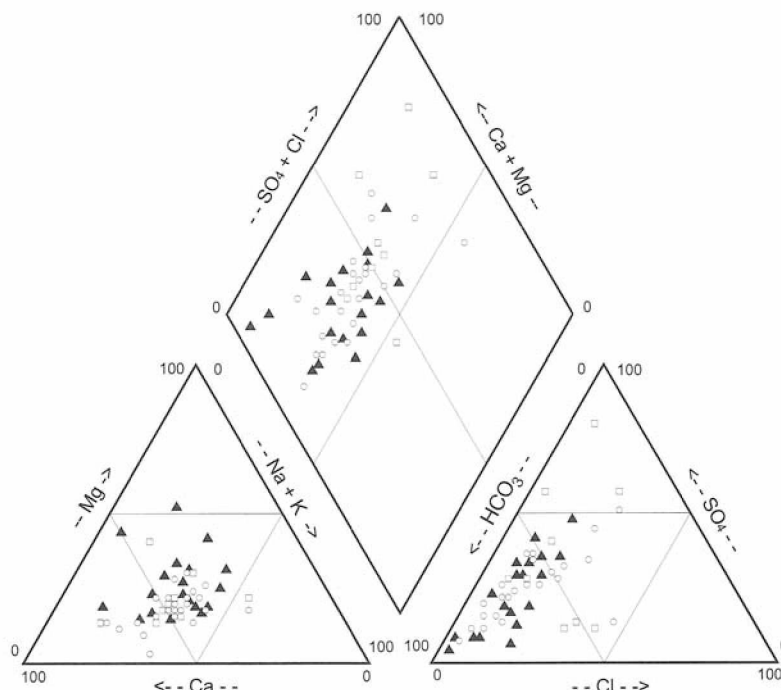
Aiempien hydrogeologisten tutkimusten mukaan pohjavesialueen reuna-alueet ovat hienoa maa-ainesta, lähinnä hienoa hiekkaa. Harjun ydinosa on puolestaan hyvin vettä johtavaa karkeaa materiaalia. Kahteen osaan jakautuvan karkean materiaalin

väliin jää hienoa ainesta, lähinnä hienoa hiekkaa ja silttiä sisältävä alue. Alueella suoritettua koepumppauksen perusteella Hinnerjoen ottamon kohdalla sijainneen koepumppauspisteen ja tien kummallakin puolella sijainneiden havaintopisteiden välillä vallitsee hydraulinen yhteys. Karkea materiaali mahdollistaa tieltä virtaavien pintavesien imeytymisen pohjaveteen ja hydraulinen yhteys toisaalta mahdollistaa suolan kulkeutumisen pohjavesivarastossa.

5.3 Tutkittavien pohjavesialueiden vedenlaatuun mahdollisesti vaikuttavia tekijöitä

5.3.1 Merellinen vaikutus rannikkoalueilla

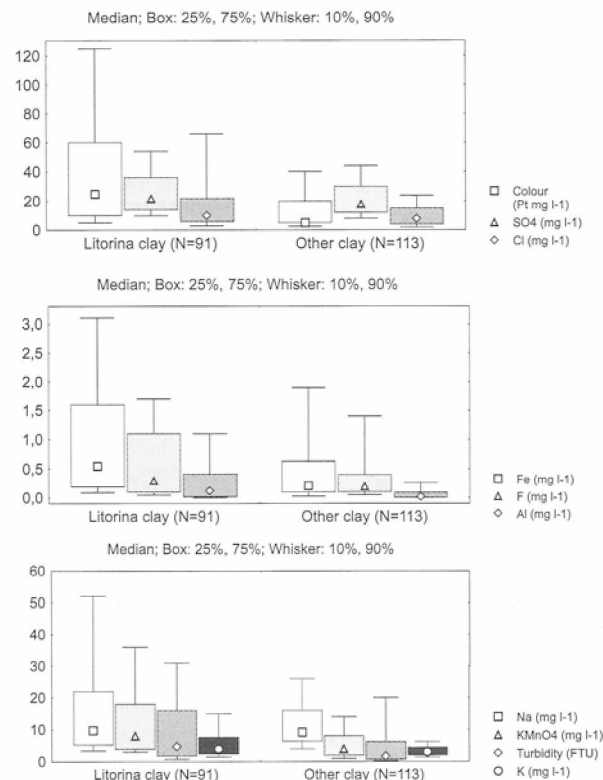
Keski-Holoseenin aikana (n. 7500–5000 vuotta sitten) vallinnut Litorinamerivaihe on Itämeren suolaisin vaihe suolapitoisuuden ollessa 10–11 ‰ Suomenlahden länsiosissa ja 8–9 ‰ Perämerellä (Eronen ja Haila 1992). Lahermon *et al.* 1990 ja Karron (1990) mukaan reliktinen merivesi kallioperän raoissa ja maaperässä suolaisena huokosvetenä mariinisissa savissa voidaan havaita kohonneista liuenneiden ionien, erityisesti SO_4^{2-} , Na- ja Cl-pitoisuuksista pohjavesissä. Suora uuden meriveden intruusio vaikuttaisi Lahermon *et al.* (1990) mukaan olevan harvinaista Suomessa. Soverin *et al.* (2001) mukaan suomalaiset pohjavedet asettuvat pääosin Piperin diagrammissa pehmeisiin Ca- HCO_3 -tyypin vesiin (kuva 47). Suomessa vallitsevista graniittisen kallioperän geologisista ominaisuuksista johtuen, mutta mariinisissa sedimenteissä esiintyvän reliktisen meriveden tai uuden meriveden intruusion vaikutuksesta vedet voivat siirtyä rannikolla kohti Na-Cl-tyypin vesiä.



Kuva 47.

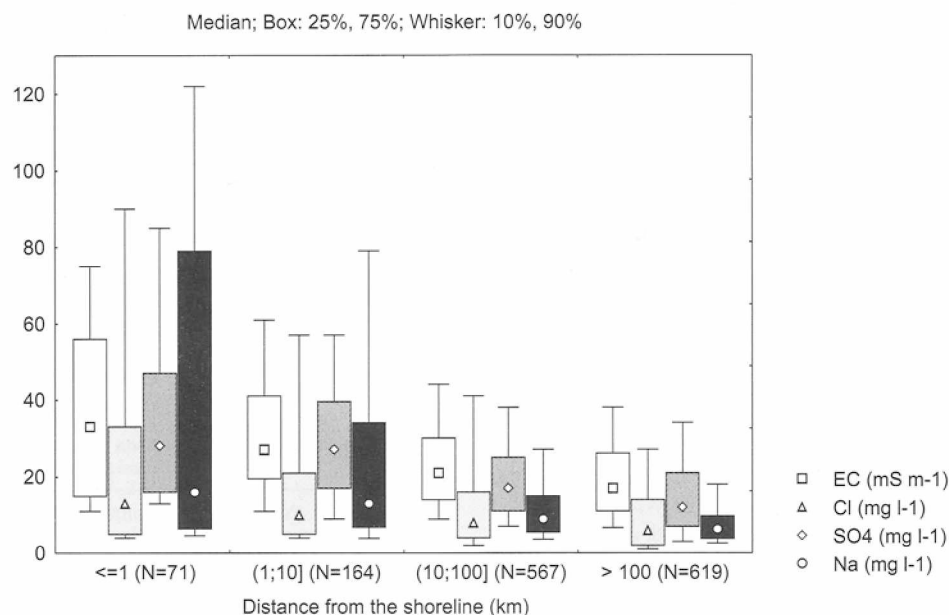
Suomessa olevien pohjavesiasemien keskimääräiset pitoisuudet (ympyrä= karkearakeisissa muodostumissa, neliö= hienorakeisissa muodostumissa ja kolmio= moreenimuodostumissa esiintyvät pohjavedet) (Soveri *et al.* 2001).

Myöhäis- ja postglasiaaliset, eri Itämeren vaiheista peräisin olevat savi- ja silttimuodostumat ovat tavallisia Suomen rannikkoalueilla (Korkka-Niemi 2001). On oletettu, että reliktinen merivesi, joka on jäänyt loukkuun huokosvedeksi mariinisiin saviin ja siltteihin viimeisen deglasiaation aikana vaikuttaa näissä sedimenteissä olevan pohjaveden sisältämiin elektrolyytteihin (Lahermo *et al.* 1990). Lahermon *et al.* (1990) mukaan meren vaikutus näkyy kohonneina kloridi-, natrium- ja sulfaattipitoisuuksina. Vaikutuksen vahvuus riippuu akviferin etäisyydestä nykyisestä rannikosta, pohjaveden syvyydestä ja pohjaveden virtausnopeudesta. Sen lisäksi, että savipeitteisten akviferien vesi eroaa kemialliselta koostumukseltaan muihin muodostumiin muodostuneesta pohjavedestä, on havaittavissa myös eroa litorinasavien ja muiden savien peittämien akviferien välillä (Korkka-Niemi 2001). Näissä vesissä on havaittu korkeammat pitoisuudet sulfaattia, kloridia, fluoria, natriumia, kaliumia, rautaa ja alumiinia sekä korkeampi väriluku, kaliumpermanganaatinkulutus ja sameus (kuva 48).



Kuva 48. Pitoisuuksia pohjavesissä litorinasavien peittämissä muodostumissa ja muiden savien peittämissä muodostumissa (Korkka-Niemi 2001).

(Korkka-Niemi 2001) mukaan meren läheisyys vaikuttaa pohjavesien laatuun myös sadannan kautta. Meren läheisyys näkyy kuvassa 49 suurempana sähkönjohtavuutena sekä sulfaatti-, kloridi- ja natriumpitoisuuksien kohoamisena kohti rannikkoa mentäessä. Tämä havaittiin kaikenlaisissa muodostumissa olevissa kaivoissa, siis myös porakaivoissa, jolloin kaikki vaikutus ei ole savikoista johtuvaa. Myös Lahermon *et al.* (1990) mukaan huomattava osa kloridista, natriumista, nitraatista, kaliumista ja sulfaatista on kulkeutunut ilman ja sitä kautta sadannan mukana pohjavesiin. Sadevesien mukana tulevan natriumin ja kloridin määrä on suurin Etelä-Suomessa (Järvinen ja Vänni 1992).



Kuva 49. Veden kemiallisten ja fysikaalisten ominaisuuksien vaihtelu eri etäisyyksillä rannikosta (Korkka-Niemi 2001).

Korkka-Niemen (2001) mukaan kloridin pitoisuudet pohjavesissä olivat koko rannikon matkan keskimäärin muita korkeampia, joten syynä on pääasiassa merellinen vaikutus, joko sadannan, savikoissa huokosissa olevan reliktisen meriveden tai uuden meriveden intruusion kautta. Muita mahdollisia syitä voivat olla antropogeeniset tekijät (Lahermo *et al.* 1990). Myös natriumpitoisuudet noudattivat samaa jakaumaa (Lahermo *et al.* 1990, Korkka-Niemi 2001). Lahermon *et al.* (1990) mukaan Suomesta on löydetty myös suolaisia syviä kalliopohjavesiä, joiden synnyssä merellisellä vaikutuksella on vain vähäinen rooli verrattuna vesi–kallioperä-interaktioon, vaikka sitä ei täysin voida pois sulkeakaan. Tällaisilla syvillä kalliopohjavesillä ei kuitenkaan ole vaikutusta mataliin kotitalouksien porakaivoihin.

Arvioitaessa merellisten tekijöiden osuutta kohonneisiin kloridipitoisuuksiin Nummenpää–Aakoissa ja Harjunummella mitattuja pitoisuuksia (taulukot 1 ja 2) voidaan verrata kuvassa 49 esitettyihin pitoisuuksiin, jotka on luokiteltu näytenäytteen etäisyyden rannikosta perusteella. Kuvassa laatikko kuvaa pitoisuusaluetta, johon 50 % näytteistä osuu. Laatikon alapuolelle jää pienimmistä arvoista 25 % ja laatikon yläpuolelle suurimmista arvoista 25 %. Viikset kuvaavat puolestaan väliä, johon 80 % näytteistä osuu. Siten laatikkoon kuuluu puolet arvoista, jotka ovat kyseisellä etäisyydellä tyypillisimmät.

Nummenpää–Aakoisten pohjavesialue sijaitsee lyhimmillään vain muutaman kilometrin päässä Paimionlahdesta ja avonaisempi meri on noin 20 kilometrin päässä. Täten Nummenpää–Aakoista mitattuja pitoisuuksia (taulukko 1) voidaan verrata kuvassa 49 esitettyihin ryhmiin (1;10] ja (10;100]. Sähkönjohtavuuden osalta kaivon 210 ja havaintopisteen 103 arvot ovat näille etäisyyksille tyypillisiä arvoja suurempia. Havaintopisteen 207 sähkönjohtavuus on puolestaan pieni verrattuna näihin. Kloridipitoisuudet ovat pääosin korkeampia lukuun ottamatta havaintopistettä 207, jossa kloridipitoisuus on puolestaan matalampi. Sulfaattipitoisuudet sopivat hyvin tälle etäisyydelle tyypillisiin arvoihin, vaikka havaintopisteen 207 sulfaattipitoisuus on jopa alhaisempi. Lähde 208 muodostaa selkeän poikkeuksen, sillä sen sulfaattipitoisuus

on jopa alle yhden kilometrin päässä rannikosta sijaitsevien kaivojen tyypillisiä pitoisuuksia korkeampi. Natriumpitoisuudet ovat korkeat havaintopisteessä 103 ja kaivossa 210. Muissa natriumpitoisuudet ovat suuruusluokaltaan samankaltaisia. Näillä perusteiden on epätodennäköistä, että merelliset tekijät yksin selittäisivät Nummenpää–Aakoisissa havaittuja pitoisuuksia. Varsinkin havaintopiste 103 ja kaivo 210 poikkeavat monien laatuparametrien osalta melko paljon. Toisaalta alueella on mahdollista olla hyvinkin alhaisia pitoisuuksia, kuten nähdään havaintopisteen 207 pitoisuuksista.

Harjunummen pohjavesialue sijaitsee noin 35 kilometrin päässä rannikosta. Sieltä kerättyjen näytteiden pitoisuuksia (taulukko 2) voidaan verrata kuvassa 49 esitettyyn ryhmään (10;100]. Sähkönjohtavuuden arvot ovat tälle etäisyydelle tyypillisiä arvoja suurempia havaintopisteissä 101 (205001) ja 102 (205002) kun taas kaivon veden sähkönjohtavuus on tyypillisiä arvoja hieman alhaisempi mahtuen kuitenkin 80 % luottamusvälille. Kloridipitoisuudet ovat etäisyydelle tyypillisiä kaivossa ja havaintopisteessä 103 (205003) ja tätä korkeampia muissa näytepisteissä. Sulfaattipitoisuuksien osalta tyypilliset arvot ylittyvät havaintopisteissä 101 (205001) ja 102 (205002), joista jälkimmäinen ei mahdu edes 80 % välille. Etäisyydelle tyypilliset natriumpitoisuudet ylittyvät Hinnerjoen ottamalla, jonka natriumpitoisuus mahtuu kuitenkin 80 % luottamusvälille. Kaivossa natriumpitoisuus puolestaan alittuu mahtuen kuitenkin myös 80 % luottamusvälille. Koska kauimpana tiestä mahdollisesti kalliokynnyksen takana sijaitsevassa kaivossa pohjaveden pitoisuudet ovat pääosin alhaisia, mutta muissa havaintopisteissä tyypillisiä tai korkeita, vaikuttaa tällä perusteella todennäköiseltä, että myös muut kuin merelliset tekijät vaikuttavat alueen pohjavedenlaatuun.

Apuna litorinasavien tai muiden Itämeren vaiheiden aikana muodostuneiden savikoiden vaikutuksen arvioimisessa Nummenpää–Aakoisten ja Harjunummen pohjavesialueiden pohjavesien laatuun voidaan käyttää kuvassa 48 esitettyä aineistoa. Verratessa Nummenpää–Aakoisten pohjavesinäytteiden pitoisuuksia (taulukko 1) kuvassa esitettyihin pitoisuuksiin voidaan havaita, että kaivossa 210 ja havaintopisteessä 103 natrium- ja kloridipitoisuudet ovat korkeammat kuin tyypillisesti litorinasavissa tai muissa savissa esiintyvissä pohjavesissä, eivätkä kloridipitoisuuksien osalta mahdu edes 80 % luottamusvälille. Kaivon 210 näytteen natriumpitoisuuskään ei mahdu 80 % luottamusvälille. Rauta- ja sulfaattipitoisuudet ovat näissä kuten lähes kaikissa muissakin näytepisteissä suuruusluokaltaan muiden savien kanssa samankaltaisia.

Rautapitoisuuden osalta poikkeuksen muodostaa havaintopiste 207, jonka rautapitoisuus ylittää litorinasavien 80 % luottamusvälin ja sulfaatin osalta lähde 208, jonka sulfaattipitoisuus myös ylittää litorinasavien 80 % luottamusvälin sekä havaintopiste 207 joka puolestaan alittaa molempien ryhmien 80 % luottamusvälin. Natriumpitoisuudet ovat kaivoa 210 ja havaintopistettä 103 lukuun ottamatta litorinasaville tyypillisiä, mutta osa myös muille saville tyypillisiä. Kloridipitoisuuksien osalta arvot jakaantuvat hieman enemmän. Havaintopisteessä 207 kloridipitoisuus on hieman alhainen kumpaankin ryhmään verrattuna, kun taas lähteessä 208 kloridipitoisuus on hieman korkea litorinasavillekin. Lähteen kloridipitoisuus mahtuu kuitenkin hyvin 80 % luottamusvälille litorinasavien ryhmässä. Litorinasavien olemassa olo vaikuttaisi tämän vertailun perusteella selvemmin riittämättömäksi selitykseksi kaivon 210 ja havaintopisteen 103 pitoisuuksille. Muilta osin minkään näytepisteen kaikki parametrit eivät osu tiettyyn ryhmään, vaan jokin niistä tekee poikkeuksen. Esimerkiksi lähteen 208 pitoisuudet osuvat melko hyvin litorinasavien ryhmässä nähtäviin pitoi-

suuksiin, mutta siinä rautapitoisuus on melko alhainen ja sulfaattipitoisuus puolestaan korkea.

Kaiken kaikkiaan tämän vertailun perusteella on kuitenkin vaikea tehdä eroa litorinasavien ja muiden savien välillä Nummenpää–Aakoisissa. Kuten kuvasta 48 nähdään, eivät litorinasavien ja muiden savien pohjavesien pitoisuuserot aina ole kovin suuret, vaikka ne suuressa aineistossa pystytäänkin havaitsemaan. Esimerkiksi kloridipitoisuudet, jotka osuvat muiden savien 50 % luottamusvälille, sopivat pääosin myös litorinasavien ryhmän 50 % luottamusvälille. Tämän vertailun perusteella on todennäköistä, että savikot vaikuttavat alueen pohjavedenlaatuun, mutta kuten nähdään havaintopisteen 103 ja kaivon 210 pitoisuuksista, se ei ole varmastikaan ainut tekijä.

Verrattaessa Harjunummelta mitattuja (taulukko 2) pitoisuuksia kuvassa 48 oleviin ryhmiin voidaan havaita, että sulfaattipitoisuudet ovat pääosin samansuuruisia kuin litorinasaville tyypilliset pitoisuudet. Korkein pitoisuus on mitattu havaintopisteessä 102 (205002), joka ylittää 80 % luottamusvälin. Matalin sulfaattipitoisuus on mitattu kaivosta, jonka pitoisuus mahtuu juuri litorinasavien 80 % luottamusvälille, mutta on myös muiden savikoiden 50 % luottamusvälin alarajalla. Rautapitoisuudet alittavat kaikissa näytepisteissä sekä litorinasavien että muiden savien 80 % luottamusvälit. Kloridipitoisuuksien osalta kaivossa ei näyttäisi olevan savikoiden vaikutusta ollenkaan, kun taas muiden näytepisteiden pitoisuudet ovat samaa suuruusluokkaa tai hieman korkeammat kuin litorinasavissa tyypillisesti. Myös natriumpitoisuus on kaivossa alhainen verrattuna kumpaankin ryhmään, mutta se mahtuu kuitenkin kummankin ryhmän 80 % luottamusvälille. Muiden näytepisteiden natriumpitoisuudet sopivat paremmin litorinasaville tyypillisiksi arvoiksi, vaikka osa sopisi myös muiden savien 50 % luottamusvälille. Tämän vertailun perusteella näyttäisi siltä, etteivät savikot vaikuta kaivon vedenlaatuun. Muissa näytepisteissä sen sijaan saattaisi olla havaittavissa litorinasavien vaikutusta, tosin alhaiset rautapitoisuudet muodostavat poikkeuksen kuvassa 48 esitettyihin pitoisuuksiin.

5.3.2 Muodostuman tyyppi

Korkka-Niemen (2001) mukaan muodostuman tyyppi vaikuttaa suuresti siinä muodostuvan pohjaveden kemialliseen koostumukseen. Elektrolyyttikonsentraatiot ovat suurimmillaan litorinasavissa olevissa pohjavesissä ja seuraavaksi suurimmat muissa savikoissa olevissa pohjavesissä. Pienimmät elektrolyyttikonsentraatiot havaittiin glasiufluviaalisissa hiekka/soramudostumissa. Muodostumissa, joissa viipymä on pieni, elektrolyyttejä on vähän. Tällaisia ovat esimerkiksi harjut, rantamuodostumat ja muut glasiufluviaaliset muodostumat, etenkin pienet muodostumat. Viipymän lisäksi raekoko vaikuttaa siten, että tehokas pinta mineraalirakeissa kasvaa, kun raekoko pienenee, jolloin vesi–kivi-interaktio on intensiivisempää. Siten suurempi osuus hienorakeista fraktiota moreenissa, siltissä tai savessa johtaa glasiufluviaalisia muodostumien akvifereja suurempaan pohjaveden elektrolyyttipitoisuuteen. Myös Soverin (1985) mukaan mitä hienompaa aines on raekooltaan, sitä suurempi on pohjaveden viipymä ja sitä enemmän maaperän eri prosessit ehtivät muuttamaan imeytyvän veden ja sitä kautta pohjaveden kemiallista koostumusta. Akviferin peitteisyys vaikuttaa myös siten, että savesta, siltistä tai turpeesta koostuva kerros pohjavesimuodostuman päällä aiheuttaa sille tyypilliset hydrogeologiset olot. Pohjavesi viipyy tällaisissa kerrostumissa tavallista pidempään, veden happi kuluu orgaanisen aineksen hajottamiseen ja kemialliset olot akviferissa muuttuvat hapettavista pelkistäviksi, jolloin

pohjavesissä on tuloksena enemmän liuenneita ioneja (Korkka-Niemi ja Salonen 1996).

Savimuodostumissa esiintyvissä pohjavesissä on korkeampi pH, alkaliteetti, kovuus, sähkönjohtavuus sekä sulfaatti, rauta- ja fluoripitoisuus verrattaessa muissa muodostumissa esiintyviin pohjavesiin. Nitraattia on puolestaan vähiten savimuodostumissa olevissa pohjavesissä ja eniten karkeissa maalajeissa esiintyvissä pohjavesissä (Korkka-Niemi 2001).

Muodostuman paksuus ja toisaalta huonosti vettä läpäisevät savi- ja moreenikerrostumat voivat suojata akviferin vettä ilman mukana kulkeutuvilta epäpuhtauksilta Toisaalta, jos maaperä on hyvin vettä läpäisevää, voi pistekuormituskin aiheuttaa laajoja alueellisia muutoksia pohjaveden kemialliseen koostumukseen. Pohjavesien nitraattista ja sulfaatista jopa kaikki voi olla ilmaperäistä laskeumaa (Lahermo *et al.* 1990).

Lahermon *et al.* (1990) mukaan lähteissä on tavallisesti vähemmän liuenneita ioneja ja niiden kemiallinen koostumus on lähempänä sadevettä kuin kuilukaivoissa tai kalliopohjavesissä. Tämä johtuu siitä, että lähteiden vesi on tavallisesti orsivettä tai muuta matalaa pohjavettä, joka on viipynyt maakerrostuman pintaosissa vain vähän aikaa, joskus vain muutamia päiviä tai viikkoja. Lähdevesissä on kuitenkin havaittu pohjoisesta kohti etelää mentäessä kasvava trendi sulfaattipitoisuuksissa, joka viittaa antropogeeniseen vaikutukseen pintasedimenteissä olevissa pohjavesissä.

5.3.3 Tiesuola ja liikenne

Tiesuolan ei pääsääntöisesti vaikuta juuri muihin pitoisuuksiin kuin kloridiin, natriumiin ja mahdollisesti kalsiumiin (Howard ja Beck 1993, Meriano *et al.* 2009). Kalsiumpitoisuuksien kasvuun tiesuolauksen yhteydessä on syynä natriumin korvautuminen maaperässä ioninvaihtoreaktioiden tuloksena kalsiumilla, jolloin pohjaveteen rikastuu natriumin sijaan kalsiumia (Howard 1998, Meriano *et al.* 2009). Toisaalta Thunkvistin (2003) mukaan teiden välittömässä läheisyydessä voidaan havaita selvästi kohonneita pitoisuuksia kloridia, natriumia, kalsiumia ja magnesiumia. Myös Olofssonin ja Sandströmin (1998) mukaan teiden läheisyys vaikuttaa myös joihinkin muihin pitoisuuksiin joko tiesuolan vaikutuksesta tai muista syistä. Tutkimuksessa tarkasteltiin vesien koostumuserojen riippuvuutta etäisyydestä tiestä muinaisten merien peittämällä alueilla sekä muinaisen merenpinnan yläpuolelle jäävillä alueilla. Muinaisen merivedenpinnan yläpuolisilla alueilla etäisyys tiestä vaikutti selvästi kalliopohjavesien sähkönjohtavuuteen ja kovuuteen sekä kalsiumin, magnesiumin, natriumin, kloridin, sulfaatin ja bikarbonaatin pitoisuuksiin. Kalsiumin, magnesiumin ja kovuuden nousuun ovat syynä maaperän ioninvaihtoreaktiot ja bikarbonaatin merkittävän nousun syynä mahdollisesti tiemateriaalin erodoituminen tai rapautuminen. Muinaisen merivedenpinnan alapuolisilla alueilla monet mitatut pitoisuudet olivat keskimäärin korkeampia ja tien etäisyyden vaikutus oli vaikeammin havaittavissa. Tähän saattaa olla syynä muinaisen merivedenpinnan alapuolisille alueille tyypillinen savipeitteinen maaperä, joka voi toimia tehokkaana ioninvaihtajana tai toisaalta pohjavesiä pintavalunnalta suojaavana kerroksena. Toisaalta savesta voi myös vapautua relikteisiä meriveden suoloja, jotka nostavat pohjaveden suolaisuutta luonnollisesti.

Tiesuolan aiheuttaman kloridin erottaminen muista kloridin lähteistä, erityisesti vanhan merenpohjan savista tai jäännösmerivedestä peräisin olevasta kloridista on usein vaikeaa (Howard 1998, Olofsson ja Gontier 2002). Erityisen ongelmallista on se, että natrium, kalsium ja kloridi voivat olla peräisin useasta eri lähteestä, kuten jäännös-

merivedestä, sedimenteistä, jätevesistä, kaatopaikoilta ja lumenkaatopaikoilta. Tiesuolan aiheuttaessa suolaantumisen havaitaan usein kloridipitoisuuksissa vuodenaikaisvaihtelua siten, että suurimmat pitoisuudet kloridia mitataan yleensä kesäelokuussa tiesuolan alkaessa suotautua pohjaveteen keväällä roudan sulettua (Yli-Kuivila *et al.* 1993). Kuitenkin etenkin savimaissa pintavesien imeytyminen pohjaveteen voi olla hidasta (Lahermo *et al.* 1990), jonka perusteella vuodenaikaisvaihtelun puuttumista ei voida pitää varmana todisteena siitä, ettei tiesuola olisi syynä suolaantumiseen.

5.3.4 Muut mahdollisesti vaikuttavat tekijät

Äströmin ja Björklundin (1995) mukaan sulfaatin pitoisuuksiin vaikuttavat merellisten tekijöiden lisäksi myös happamat sulfaattimaat. Sulfaattimaissa kuitenkin myös alumiini-, kalsium-, kalium-, magnesium-, mangaani- ja natriumpitoisuudet ovat korkeammat. Sulfaatin lähteitä ovat etenkin Etelä-Suomessa ilman mukana Pietarista peräisin oleva laskeuma (Backman *et al.* 1999). Lahermon *et al.* (1990) mukaan kuitenkin pääasiallinen kohonneiden sulfaattipitoisuuksien aiheuttaja pohjavesissä on kallioperässä ja moreenimuodostumissa olevat sulfidimineraalit sekä postglasiaalisissa Itämeren muinaisissa merivaiheissa muodostuneissa savi- ja silttimuodostumissa olevat sulfidit tai sulfaatit. Myös karjasuojien on havaittu vaikuttavan pohjavesien sulfaattipitoisuuksiin (Korkka-Niemi 2001).

Maanviljelyn vaikutus näkyy erityisesti kohonneina pitoisuuksina nitraattia ja ammoniumia (Korkka-Niemi 2001). Pohjaveden luontainen nitraattipitoisuus on Suomessa alle 0,2 mg/l (Lahermo ja Backman 1999), joten käytännössä kaikki pohjavesissä havaittava nitraatti on peräisin ihmistoiminnasta (Lahermo *et al.* 1990). Pihoilla sijaitsevista kaivoista on havaittu korkeammat pitoisuudet natriumia ja hieman korkeammat pitoisuudet rautaa, mangaania ja kaliumia (Korkka-Niemi 2001). Lievä likaantuminen ja pahempi pilaantuminen näkyvät myös yleisenä liuenneiden aineiden pitoisuuksien kasvuna (Lahermo *et al.* 1990).

Jätevesien vaikutuksesta voi kertoa korkea sulfaatti-, kalium-, jodi-, kalsium- ja toisinaan myös nitraattipitoisuus (Howard 1985, Howard ja Beck 1993). Luonnostaan suolaisessa kalliopohjavedessä on havaittu korkea sulfaatti/kloridi-suhde sekä runsaasti jodia, tosin sulfaatin pitoisuutta voi vähentää sulfaatin pelkistyminen (Howard ja Beck 1993).

Lahermon *et al.* (1990) mukaan pohjaveden kemiallinen koostumus vaihtelee jonkin verran myös vuodenaikojen mukaan. Keväällä lumien sulamisen seurauksena nopeasti nouseva pohjavedenpinta aiheuttaa liuenneiden aineiden pitoisuuksien laskua. Kesän ja syksyn pitoisuudet riippuvat sateisuudesta. Talvisin matalissa pohjavesissä liuenneiden aineiden pitoisuudet ovat korkeimmillaan. Suurissa hiekka- ja soramuo-
dostumissa vedenlaatu pysyy melko tasaisena ympäri vuoden, mutta pienissä moreenimuodostumien akvifereissa voidaan havaita eroja eri vuodenaikoina.

Howardin ja Beckin (1986) mukaan toisinaan myös pohjaveden luontainen evoluutio sen virratessa hitaasti muodostuman läpi saattaa aiheuttaa pohjaveden kemiaan samankaltaisia vaikutuksia kuin lievä likaantuminen. Pohjavedet voivat kehittyä kemiallisesti monia eri polkuja riippuen muodostuman sedimenttien geokemiasta ja interaktioista mineraalien kanssa, mutta kaksi prosessia on yleensä aina tunnistettavissa eli kloridipitoisuuksien ja liuenneiden ionien kokonaismäärän (TDS) kasvu pohjaveden viipymän aikana sekä kationinvaihtoreaktiot, joissa tavallisesti kalsium ja magnesium

korvautuvat natriumilla. Pohjaveden pitkää viipymää kuvaavat myös kohonneet pitoisuudet jodia ja fluoria (Lloyd *et al.* 1982, Howard ja Lloyd 1983, Howard ja Beck 1986). Joissakin tapauksissa tuloksena voi olla kemialtaan merivettä muistuttava pohjavesi (Chebotarev 1955). Kemiallinen evoluutio on Howardin ja Beckin (1986) mukaan kuitenkin parhaiten tunnistettavissa suurissa pohjavesimuodostumissa, joissa virtauspolut ovat pitkiä ja muodostumassa parhaillaan oleva vesi on peräisin alkujaan samasta lähteestä. Pienissä muodostumissa voi olla niin suuri määrä uutta eri lähteistä peräisin olevaa vettä, että veden kemia heijastaa pikemminkin muutoksia imeytyvässä vedessä kuin pohjaveden luonnollista kemiallista evoluutiota (Howard 1985).

6 Johtopäätökset

Tässä tutkimuksessa pyrittiin selvittämään kahden erilaiseen muodostumaan syntyneen pohjavesialueen suolaantumisen syitä. Toinen alueista sijaitsee rannikolla ja toinen enemmän sisämaassa. Alueille on yhteistä niiden sijoittuminen Litorinameren korkeimman rantaviivan alapuolelle, jolloin on mahdollista, että litorinasavikot vaikuttavat niiden pohjavedenlaatuun. Molempien pohjavesialueiden poikki kulkee myös talvisin suolattava tie. Näiden kohteiden avulla pyrittiin samalla laajemmin selvittämään luonnollisten pohjavedenlaatuun vaikuttavien tekijöiden osuutta suolaantumiseen sekä tutkimaan keinoja niiden ja tiesuolauksen vaikutuksen erottamiseen toisistaan.

Kummaltakin alueelta otettiin pohjavesinäytteet, joista määritettiin muun muassa pääanionit ja -kationit sekä jodi, bromi ja fluori. Tämän lisäksi käytössä oli kummaltakin alueelta pitempiaikaista kloridiseuranta-aineistoa. Pitkän ajan kloriditietojen avulla pyrittiin löytämään pitempiaikaisia trendejä kloridipitoisuuksista sekä tarkastelemaan pitoisuuksien mahdollista vaihtelua vuodenaikojen mukaan. Uusien pohjavesinäytteiden pitoisuuksia verrattiin sekä alueellisiin taustapitoisuuksiin Suomessa että eri tavoin luokiteltuihin pohjavedenlaatuaineistoihin. Lisäksi tarkasteltiin havaittujen pitoisuuksien jakaantumista alueellisesti kummallakin pohjavesialueella. Kloridin lähteiden erottamiseksi käytettiin myös erilaisia ionisuhteita. Näiden menetelmien avulla pyrittiin saamaan mahdollisimman kattava kuva alueiden pohjavesien kemiasta.

Muodostumien rakenteen selvittämiseksi kummallakin pohjavesialueella suoritettiin maatulkuotaukset. Maatulkuotausprofiilien ja alueilla aiemmin suoritettujen hydrogeologisten tutkimusten avulla pyrittiin selvittämään, onko tiesuolan kulkeutuminen pohjavesiin mahdollista tai todennäköistä.

Nummenpää – Aakoinen

Nummenpää–Aakoisten pohjavesialueella havaitaan selkeää tiesuolauksen vaikutuksesta kertovaa kloridipitoisuuksien vuodenaikaisvaihtelua yhdessä, hyvin lähellä tietä (alle 20 metrin päässä tiestä) alarinteessä olevassa havaintopisteessä. Kloridiseurantanäytteet on otettu kolme tai neljä kertaa vuodessa, mikä ei välttämättä ole riittävä määrä paljastamaan vuodenaikaisvaihtelua kaikissa havaintopisteissä ottaen huomioon, kuinka suurta vaihtelua näytteenottokertojen välillä voi olla. Osassa havaintopisteistä kloridipitoisuuksien yleinen trendi on ollut hieman laskeva, kun taas osassa nouseva. Suolausmääristä ei ole tarpeeksi tarkkaa paikallista tietoa johtopäätösten tekemiseksi, mutta yleisesti suolausmäärät ovat olleet hieman laskussa.

Kloridi- ja natriumpitoisuudet ovat suurimmillaan tien vieressä alarinteessä sijaitsevissa havaintopisteissä. Pienimmillään ne ovat kauimpana tiestä olevassa havaintopisteessä 207, joka muutenkin poikkeaa kemialtaan muista ja saattaa sen perusteella sijaita kalliokynnyksen takana tai orsivesikerroksessa. Kaiken kaikkiaan pitoisuuksissa havaitaan paljon alueellista vaihtelua, joka voi viitata siihen, ettei pohjavesialue ole aivan yhtenäinen vaan kalliokynnysten rikkoma. Myös suuret vaihtelut pohjavesien pinnoissa tukevat tätä päätelmää.

Erilaisten vertailuaineistojen perusteella rannikon läheisyys todennäköisesti vaikuttaa alueen pitoisuuksiin. Niiden perusteella on kuitenkin vaikea tehdä eroa lito-

rinasavien ja muiden savien välille. Litorinasavien olemassa olo alueella on kuitenkin mahdollista ja savikoita tiedetään kairausten perusteella olevan. Ionisuhteiden perusteella näyttää selvältä, että mariiniset savet vaikuttavat alueen pohjaveden laatuun. Toisaalta myös tiesuolauksen vaikutus näyttää niiden perusteella selvältä. Tiesuolauksen vaikutuksesta kertoo myös selvästi muita korkeampia kloridi- ja natriumpitoisuuksia sisältävät näytteet tien vierestä sekä toisaalta hyvin alhaisia pitoisuuksia sisältävä näyte kauempana tiestä.

Maatutkaluotausten tulokset jäävät siltä osin vaillinaisiksi, että pohjaveden pintoja ei nähdä profiileista juurikaan. Lisäksi havaintopisteelle 207 tieltä johtava mahdollinen pohjavedenpinta on ristiriidassa kemiallisen aineiston kanssa. Luotausprofiilien ja aiemmin suoritettujen kairaustulosten perusteella nähdään kuitenkin se, että savikoita esiintyy alueella runsaasti, etenkin Aakoisten ottamon lähistöllä mutta paikoin myös Nummenpään ottamon lähellä. Lisäksi tien läheisyydessä on etenkin alueen Nummenpään ottamon läheisessä päässä monin paikoin hyvin vettä läpäisevää aineista, joka mahdollistaa tiesuolaa sisältävien pintavesien pääsyn pohjavesiin. Toisaalta tiesuolauksen vaikutusta on havaittavissa myös savipeitteisillä alueilla, mikä johtuu todennäköisesti paksusta vettä johtavasta maakerroksesta savikerrosten alla. Tällöin suola on voinut imeytyä pohjaveteen toisaalla ja kulkeutua vettä johtavassa kerroksessa myös savipeitteisille alueille. Tämä selittäisi myös sen, miksei havaintopisteellä 103 ole havaittavissa vuodenaikaisvaihtelua, vaikka se sijaitsee aivan tien välittömässä läheisyydessä. Toisaalta myös pintaveden hidas imeytyminen paksun savikerroksen läpi voi estää vuodenaikaisvaihtelun esiintymisen.

Harjunummi

Harjunummella kloridiseurannan perusteella useimmissa havaintopisteissä pitoisuuksien yleinen trendi on laskeva, mutta lähimpänä tietä olevassa havaintopisteessä nouseva. Myös tiesuolan määrä on ollut yleisesti hieman laskevaa, mutta tarkkoja paikallisia tietoja ei ole saatavilla, joten johtopäätösten tekeminen tämän perusteella on hankalaa. Mahdollisesta tiesuolauksen vaikutuksesta kertovaa vuodenaikaisvaihtelua saattaa osassa havaintopisteissä olla nähtävissä. Tiheämmällä näytteenottoväillä se saattaisi näkyä selvemmin.

Kloridi- tai muissa pitoisuuksissa ei ole selvästi nähtävissä alueellista jakaantumista esimerkiksi tien suhteen. Ainoan poikkeuksen muodostaa todennäköisesti kalliokynnyksen takana sijaitseva havaintopiste, jossa pitoisuudet ovat pääosin selkeästi alhaisemmat kuin muissa pisteissä. Todennäköisesti tämän havaintopisteen voidaan olettaa edustavan pohjavesialueen taustapitoisuutta, johon tiesuolaus tai tien läheisyys muuten ei vaikuta.

Suomalaisten vertailuaineistojen perusteella tässä näytepisteessä ei ole juuri havaittavissa litorinasavien vaikutusta. Harjunummen pohjavesialue sijaitsee myös sen verran kauempana rannikosta, ettei sillä etäisyydellä ole enää kovin suurta rannikon vaikutusta havaittavissa. Sen perusteella näyttää todennäköiseltä, että tiesuolaus on suurelta osin aiheuttanut alueen kohonneet kloridipitoisuudet. Toisaalta ionisuhteiden perusteella näyttää kuitenkin puolestaan todennäköiseltä, että mariiniset savet vaikuttavat pohjavesialueen vedenlaatuun. Ionisuhteiden perusteella tosin myös tiesuolauksella näyttää olevan vaikutuksensa kloridipitoisuuksiin. Joiltain osin kemiallinen aineisto on siis hieman ristiriitaista.

Harjunummellakaan ei maatumkaluotausprofiileissa juuri ole pohjavedenpintoja erotettavissa, joten niiden perusteella ei voida tehdä johtopäätöksiä tiesuolan kulkeutumisesta pohjavesiin. Monin paikoin alueella esiintyy kuitenkin karkeita aineksia, jotka ovat mahdollistaneet suolan kulkeutumisen tieltä pohjavesiin. Vuonna 2008 rakennettu pohjavesisuojaus estänee suurimman osan tästä. Luotausprofiilien ja vanhojen kairaustietojen perusteella tiedetään kuitenkin, että alueella esiintyy savia. Toisaalta alueen tiedetään myös olevan Litorinameren korkeimman rantaviivan alapuolella, joten litorinasavien esiintyminen pohjavesialueella on mahdollista.

Loppupäätelmät

Molemmilla pohjavesialueilla vaikuttaa todennäköiseltä, että sekä tiesuolaus että mariiniset savikot vaikuttavat pohjavesien kloridipitoisuuksiin. Nummenpää–Aakois-ten pohjavesialue on todettu kohteeksi, jossa pohjavesisuojaus kannattaisi rakentaa mahdollisen tien perusparannushankkeen yhteydessä. Tämä tutkimus ei muuttanut tietoa suojauksen tarpeellisuudesta, sillä sen perusteella ei voida sulkea pois tiesuolauksen todennäköistä vaikutusta alueen pohjaveden kloridipitoisuuksiin. Harjunummen pohjavesialueelle on rakennettu pohjavesisuojaus vuonna 2008, jonka tarpeellisuutta ei myöskään voida tämän tutkimuksen perusteella kiistää. Molemmilla pohjavesialueilla kloridiseurantaa kannattaa jatkaa, Harjunummella pohjavesisuojauksen vaikutuksen todentamiseksi ja Nummenpää–Aakoisissa kloridipitoisuuksien trendin seuraamiseksi jatkossa.

Tutkimuksen aikana on kuitenkin käynyt selväksi, että on hyvin vaikeaa erottaa toisistaan tiesuolauksen ja toisaalta mariinisten savien ja reliktisen meriveden vaikutusta. Tämä on käynyt ilmi myös useissa aiemmin tehdyissä tutkimuksissa. Ongelmana on etenkin se, että molemmat suolaantumisen aiheuttajat aiheuttavat myös muuten hyvin samankaltaisia piirteitä pohjavesiin. Lisäksi etenkin savipitoisissa muodostumis- sa tapahtuvat ioninvaihtoreaktiot tekevät tulkinnasta monimutkaisen ja vaativat hyvää kemian ymmärtämistä. Kemiallisen aineiston tulkinnan tukena on hyvä olla myös mahdollisimman kattava kuva pohjavesialueen virtausolosuhteista sekä muista geologisista olosuhteista. Tämä auttaa myös arvioitaessa alueen alttiutta tiesuolauksen vaikutukselle, kun tiedetään pääsevätkö tieltä valuvat pintavedet imeytymään pohjavesivarastoon ja miten mahdollinen suola siellä pääsee leviämään.

Luontaisen taustapitoisuuden ja toisaalta tiesuolan vaikutuksen erottamiseksi luonnollisesti korkeista kloridipitoisuuksista olisi voinut olla helpompaa vertailla keskenään esimerkiksi kahta litorinasavien alueella olevaa pohjavesialuetta, joista vain toisella tiesuolauksen vaikutus on mahdollista, koska juuri nämä kaksi tekijää vaikuttavat olevan vaikeimmin erotettavissa toisistaan.

Mahdollisia tulevia tutkimuksia ajatellen tässä työssä käytetyt menetelmät vaikuttavat hyviltä. Etenkin ionisuhteiden käyttämisestä on apua, mutta niitä käytettäessä on silti huomioitava, ettei yksittäisten suhteiden perusteella voida vielä tehdä varmoja johtopäätöksiä. On otettava huomioon, että pohjavedet ovat aina sekoitus useammasta lähteestä peräsin olevista vesistä. Suuria epävarmuuksia aiheuttavien ioninvaihtoreaktioiden kulun selvittämiseksi voisi Olofssonin ja Gontierin (2002) mukaan käyttää samasta havaintopisteestä tehdyn pitempiäaikaisen seurannan avulla käyttäen Piperin diagrammia. Tämä vaatisi päänanionien ja -kationien analysointia joka näytteenotto- kerralla. Tämän lisäksi vertailuaineistona voisi käyttää tunnettuja suomalaisia reliktisen meriveden näytteitä, jos mahdollista.

Lisäksi hieman suurempi näytemäärä auttaisi poistamaan tulosten epävarmuutta. Kuten kloridiseuranta-aineistosta voidaan havaita, voi ainakin kloridipitoisuuksissa vaihtelu olla suurta eri aikoina. Vuodenaikaisvaihtelun tulkinta kloridiseurannan avulla voisi olla helpompaa, jos näytteenottokertoja olisi useampia. Myös tarkemmat tiedot yksittäisten pohjavesialueiden suolausmääristä auttaisivat tulkitsemaan kloridiseurannassa havaittavia trendejä ja lyhytjaksoisempia notkahduksia tai piikkejä. Näytteistä valittaessa olisi hyvä myös olla useampia sellaisia havaintopisteitä, joiden voidaan olettaa olevan tiesuolauksen ulottumattomissa.

Kemiallisen aineiston käsittelyyn ja tulkintaan voitaisiin mahdollisesti soveltaa myös uutena menetelmänä Olofsson ja Gontier 2002 esittämää sekoittumissuhteita laskevaa monimuuttuja-analyysiin perustuvaa ohjelmaa, jonka on kehittänyt SKB (Svensk Kärnbränslehantering AB, Swedish nuclear fuel and waste management co). Monimuuttuja-analyysi suoritetaan siinä yhdeksän kemiallisen pääkomponentin avulla ja vesinäytteet tyypitellään mahdollisimman kuvaavasti. Sen jälkeen niitä verrataan tunnettuihin referenssinäytteisiin ohjelman avulla, jolloin tulkinta on helpompaa kuin yksittäisten ionisuhteiden avulla.

Lähdeluettelo

Appelo, C. A. J. ja Postma, D. 1994: Geochemistry, groundwater and pollution. A.A. Balkema. Rotterdam. 536 s.

Backman, B., Lahermo, P., Väisänen, U., Paukola, T., Juntunen, R., Karhu, J., Pullinen, A., Rainio, H. ja Tanskanen, H. 1999: Geologian ja ihmisen toiminnan vaikutus pohjaveteen: Seurantatutkimuksen tulokset vuosilta 1969 – 1996. Geologian tutkimuskeskuksen raportti 147. Geologian tutkimuskeskus. Vammala. 261 s.

Bäckström, M., Karlsson, S., Bäckman, L., Folkesson, L. ja Lind, B. 2004: Mobilisation of heavy metals by deicing salts in roadside environment. Water research 38: 720 – 732.

Chebotarev, I. I. 1955: Metamorphism of natural waters in the crust of weathering. Geochimica et Cosmochimica Acta. 8: 22 – 48.

Cunningham, M. A., Snyder, E., Yonkin, D., Ross, M. ja Elsen, T. 2008: Accumulation of deicing salts in an urban environment. 11: 17 – 31.

de Coster, A., Granlund, K. ja Soveri, J. 1993: Tiesuolan pohjavesivaikutusten mallintaminen Joutsenonkankaalla. Tielaitoksen selvityksiä 33/1993. Tielaitos, Keskushallinto. Helsinki. 53 s. + 3 liitettä.

Eronen, M. ja Haila, H. 1992. Suomen kartasto. Geologia. Vihko 123 – 126. Maanmittaushallitus, Karttakeskus. Helsinki. 58 s.

Granlund, K. ja Nystén, T. 1998: The effects of roadsalt on the Miekkämäki aquifer in Central Finland – simulation by a two-dimensional groundwater model. Teoksessa: Nystén, T. ja Suokko, T., (toim.): Deicing and dustbinding – Risk to aquifers. Proceedings of an International Symposium, Helsinki, Finland, October 14 – 16, 1998. Nordic hydrological programme NHP report No 43. The Nordic Coordinating Committee for Hydrology, KOHYNO: 193 – 200.

Hellstén, P. ja Nystén, T. 2001. Vaihtoehtoisten liukkaudentorjunta-aineiden kemialliset reaktiot pohjaveteen kulkeutumisessa. Suomen ympäristö 515. Suomen ympäristökeskus. Helsinki. 77 s.

Hellstén, P., Nystén, T., Salminen, J., Granlund, K., Huotari, T. ja Vallinkoski, V.-M. 2004: Kaliumformiaatin hajoaminen pohjavedessä ja maaperässä – MIDAS – loppuraportti. Suomen ympäristö 675. Suomen ympäristökeskus. Helsinki. 41 s. + 3 liitettä.

Hellstén, P., Nystén, T., Kokkonen, P., Valve, M., Laaksonen, T., Määttä, T. ja Miettinen, I. 2002: Vaihtoehtoisten liukkaudentorjunta-aineiden kulkeutuminen pohjaveteen. Suomen ympäristö. 552. Suomen ympäristökeskus. Helsinki. 59 s.

Hellstén, P. P., Salminen, J. M., Jørgensen, K. S., Nystén, T. H. 2005: Use of potassium formate in road winter deicing can reduce groundwater deterioration. Environment, science and technology. 38: 5095 – 5100.

Howard, K. W. F. 1985: An approach to recognizing low level inorganic contamination of groundwater in shallow sedimentary aquifers. *Water Pollution Research Journal of Canada*. 20 (2): 1 – 11.

Howard, K. W. F. 1998: Monitoring the impact of road maintenance chemicals on groundwater. Teoksessa: Nystén, T. ja Suokko, T., (toim.): Deicing and dustbinding – Risk to aquifers. Proceedings of an International Symposium, Helsinki, Finland, October 14 – 16, 1998. Nordic hydrological programme NHP report No 43. The Nordic Coordinating Committee for Hydrology, KOHYNO: 51 – 62.

Howard, K. W. F. ja Haynes, J. 1993: Groundwater contamination due to road deicing chemicals – salt balance implications. *Geoscience Canada* 20(1): 1 – 8.

Howard, K. W. F. ja Lloyd, J. W. 1983: Major ion characterization of coastal saline groundwaters. *Ground Water* 81(4): 429 – 437.

Howard, K. W. F. ja Beck, P. 1986: Hydrochemical interpretation of groundwater flow systems in quaternary sediments of southern Ontario. *Canadian Journal of Earth Sciences*. 23(7): 938 – 947.

Howard, K. W. F. ja Beck, P., J. 1993: Hydrogeochemical implications of groundwater contamination by road de-icing chemicals. *Journal of Contaminant Hydrology*. 12: 245 – 268.

Hänninen, P. 1991: Maatutkaluotaus maaperägeologisissa tutkimuksissa. Tutkimusraportti 103. Geologian tutkimuskeskus. Vammalan kirjapaino. Espoo. 33 s.

Hänninen, T., Kivimäki, A.-L., Liponkoski, M. ja Niemi, A. 1994: Tiesuolauksen vaikutus tärkeillä pohjavesialueilla – Tilastollinen tarkastelu. Talvi ja tieliikenne –projekti. Tielaitoksen sisäisiä julkaisuja 70/1994. Tielaitos, Liikenteen palvelukeskus. Helsinki. 39 s. + 2 liitettä.

Järvinen, O. ja Vänni, T. 1992: Sadeveden pitoisuus- ja laskeuma-arvot Suomessa vuonna 1990. Vesi- ja ympäristöhallinnon monistesarja 378. Helsinki. 74 s.

Kallberg, V.-P. 1995. Teiden suolauksen vähentämiskokeilu Savo – Karjalan tiepiirissä. Talvi ja tieliikenne –projekti. Tielaitoksen selvityksiä 34/1995. Tielaitos, Liikenteen palvelukeskus. Helsinki.

Karro, E. Hydrochemical studies of the bedrock and glaciofluvial aquifers in Finland. Helsingin yliopisto. Yliopistopaino. Helsinki. 30 s.

Kielosto, S., Stén, C.-G. ja Juntunen, R. 2003: Hinnerjoen kartta-alueen maaperä. Maaperäkartta 1:20 000 selitys, lehti 1133 06. Geologian tutkimuskeskus. Espoo. 13 s.

Kielosto, S., Toivonen, T. ja Pullinen, A. 2008: Sauvon kartta-alueen maaperä. Maaperäkartta 1:20 000 selitys, lehti 2021 02. Geologian tutkimuskeskus. Espoo. 11 s.

Korkka-Niemi, K. 2001: Cumulative geological, regional and site specific factors affecting groundwater quality in domestic wells in Finland. Monographs of the Boreal Environment Research 20. 98 s.

Korkka-Niemi, K. ja Salonen, V.-P. 1996: Maanalaiset vedet – Pohjavesigeologian perusteet. Turun yliopiston täydennyskoulutuskeskus. Vammalan kirjapaino. Turku. 181 s.

Kujala-Räty, K., Hiisivirta, L., Kaukonen, M., Liponkoski, M. ja Sipilä, A. 1998: Talousveden laatu Suomessa. Suomen ympäristö 181. Suomen ympäristökeskus. Helsinki. 140 s.

Lahermo, P. ja Backman, B. 1999: Nitrates in groundwater in Finland – the most endangering quality problem. Teoksessa: Fendeková, M. ja Fendek, M. (toim.): Hydrogeology and land use management: proceedings of 29th Congress of International Association of Hydrogeologists, Bratislava, Slovak Republic 6. – 10. September 1999. Bratislava. International Association of Hydrogeologists: Slovak association of Hydrogeologists: 425 – 429.

Lahermo, P., Ilmasti, M., Juntunen, R. ja Taka, M. Suomen geokemian atlas, osa 1. Suomen pohjavesien hydrogeokemiallinen kartoitus. Geologian tutkimuskeskus. Espoo. 66 s.

Liski, U.-M. ja Saarnio, J. 1997: Paimion ja Sauvon pohjavesialueiden suojelusuunnitelma. Lounais-Suomen ympäristökeskuksen moniste 1/97. Lounais-Suomen ympäristökeskus. Turku. 31 s. + 5 liitettä.

Lloyd, J. W., Howard, K. W. F., Pacey, N. R. ja Tellam, J. H. 1982: The value of iodide as a parameter in the chemical characterization of saline groundwaters. *Journal of Hydrology* 57: 247 – 265.

Lundmark, A. ja Olofsson, B. 2007: Chloride depositon and distribution in soils along a deiced highway – Assesment using different methods. *Water, Air and Soil Pollution*. 182: 173 – 185.

Löfgren, S. 2001: The chemical effects of deicing salt on soil and stream water of five catchments in southeast Sweden. *Water, Air and Soil Pollution*. 130: 863 – 868.

Mason, B. 1966: Principles of geochemistry. John Wiley & Sons. New York. 329 s.

Meriano, M., Eyles, N. ja Howard, K. W. F. 2007: Hydrogeological impacts of road salt from Canada's busiest highway on a Lake Ontario watershed (Frenchman's Bay) and lagoon, city of Pickering. *Journal of Contaminant Hydrology*. 107: 66 – 81.

Niemi, A. 1998: Modelling of chloride transport in aquifers due to salt from highway de-icing – A representative example conditions in Finnish aquifers. Teoksessa: Nystén, T. ja Suokko, T., (toim.): Deicing and dustbinding – Risk to aquifers. Proceedings of an International Symposium, Helsinki, Finland, October 14 – 16, 1998. Nordic hydrological programme NHP report No 43. The Nordic Coorninating Committee for Hydrology, KOHYNO: 173 – 186.

Niemi, Kling, Vaittinen, Vahanne, Kivimäki ja Hatva. 1994: Tiesuolauksen pohjavesivaikutusten simulointi tyyppimuodostumissa. Talvi ja tieliikenne –projekti. Tielaitoksen selvityksiä 66/1994. Tielaitos, Liikenteen palvelukeskus. Helsinki. 55 s. + 9 liitettä.

Norrstöm, A.-C. ja Bergstedt, E. 2001: The impact of road de-icing salts (NaCl) on colloid dispersion and base cation pools in roadside soils. *Water, Air and Soil Pollution*. 127: 281 – 299.

Nystén, T. 1998: Transport processes of road salt in quaternary deposits. Teoksessa: Nystén, T. ja Suokko, T., (toim.): Deicing and dustbinding – Risk to aquifers. Proceedings of an International Symposium, Helsinki, Finland, October 14 – 16, 1998. Nordic hydrological programme NHP report No 43. The Nordic Coordinating Committee for Hydrology, KOHYNO: 31 – 40.

Nystén, T. ja Hänninen, T. 1997: Tiesuola pohjavedessä nyt ja ensi vuosikymmeninä. Teoksessa: Salonen, V.-P. ja Korkka-Niemi, K. (toim.): Kirjoituksia pohjavedestä. Turun yliopisto, Geologian laitos: 215 – 219.

Nystén, T. ja Hänninen, T. 1997: Tiesuolan pohjavesihaittojen vaikutuksista ja torjuntakeinoista. *Suomen ympäristö* 57. Suomen ympäristökeskus. Helsinki. 45 s. + 1 liite.

Nystén, T., Granlund, K., Kivimäki, A.-L. ja Tuominen, S. 1995: Tiesuolan pohjavesivaiikutusten mallintamistutkimukset Miekkamäen alueella. Tielaitoksen selvityksiä 29/1995. Tielaitos, Liikenteen palvelukeskus. Helsinki. 116 s. + 19 liitettä.

OIVA – ympäristö- ja paikkatietopalvelu. 11.5.2010 (muokattu). Suomen ympäristökeskus. Ympäristötiedon hallintajärjestelmä Hertta. Pohjavedet. Tiedot haettu 8.9.2010.

Olofsson, B., Jernberg, H. ja Rosenqvist, A. 2006: Tracing leachates at waste sites using geophysical and geochemical modelling. *Environmental Geology*. 49: 720 – 732.

Olofsson, B. ja Gontier, M. 2002: Chemical differentiation of salt groundwater at major roads in south and central Sweden. Research report. Royal Institute of Technology (KTH), Department of Land and Water Resources Engineering. Stockholm. 87 s.

Olofsson, B. ja Sandström, S. Increased salinity in private wells in Sweden – natural or man-made? Teoksessa: Nystén, T. ja Suokko, T., (toim.): Deicing and dustbinding – Risk to aquifers. Proceedings of an International Symposium, Helsinki, Finland, October 14 – 16, 1998. Nordic hydrological programme NHP report No 43. The Nordic Coordinating Committee for Hydrology, KOHYNO: 75 – 81.

Pedersen, P. A. ja Fostad, O. 1996: Effects of deicing salt on soil, water and vegetation. MITRA report 01/96. The agricultural University of Norway (NLH). Department of Plant Sciences. (norjankielinen)

Peltoniemi, M. 1988: Maa- ja kallioperän geofysikaaliset tutkimusmenetelmät. Ota-kustantamo. Hämeenlinna. 411 s.

Ramakrishna, D. M. ja Viraraghavan, T. 2005: Environmental impact of chemical deicers – A review. *Water, Air and Soil Pollution*. 166: 49 – 63.

Salminen, J., Nystén, T. ja Tuominen, S. Painossa. Vaihtoehtoiset liukkaudentorjunta-aineet ja pohjavesien suojele – MIDAS2 hankkeen loppuraportti.

Soveri, J. 1985: Influence of meltwater on the amount and composition of groundwater in quaternary deposits in Finland. Publications of the water research institute 63. Helsinki. 92 s.

Soveri, J., de Coster, A. ja Vesterinen, J. 1991: Tiesuolan vaikutus pohjaveteen Salpausselän alueella. Tielaitoksen selvityksiä 21/1991. Tiehallitus. Helsinki. 44 s. + 7 liitettä.

Soveri, J., Mäkinen, R. ja Peltonen, K. 2001: Pohjaveden korkeuden ja laadun vaihteluista Suomessa 1975 – 1999. Suomen ympäristö 420. Helsinki. 382 s.

Suunnittelukeskus Oy. 1979: Lisätutkimukset Tammenojan ja Nummenpään – Aakkoisten pohjavesiesiintymillä. Vedenhankintavaihtoehdot. Työ nro 6715.

Suunnittelukeskus Oy. 1981: Nummenpään ja Aakkoisten pohjavesiesiintymien koe-pumppaus. Työ nro 7722.

Suunnittelukeskus Oy. 1982: Vesiasetuksen 69 §:n mukainen selvitys Paimion kunnan Nummenpään ja Aakkoisten pohjavedenottamoiden lupahakemukseen. työ nro 8878.

Thunkvist, E.-L. 2003: Estimating chloride concentration in surface water and groundwater due to deicing salt application. Royal Institute of Technology (KTH), Department of Land and Water Resources Engineering. Stockholm. 33 s.

Tie- ja vesirakennushallitus, Turun piiri. 1970a: Kemiön – Sauvon – Paimion maantien parantaminen. Pituusleikkauspiirrokset plv. 181+00 – 195+00 ja plv. 195+00 – 209+00. Piirustukset nro 3/33 ja 3/34.

Tie- ja vesirakennushallitus, Turun piiri. 1970b: Kemiön – Sauvon – Paimion maantien parantaminen. Suunnitelmapiirustukset plv. 181+00 – 195+00 ja plv. 195+00 – 209+00. Piirustukset nro 3/16 ja 3/17.

Tiehallinto. 2008: Talvihoidon toimintalinjat. Toiminta- ja suunnitelma-asiakirjat. Helsinki. 50 s.

Tiehallinto. 2007: Turun tiepiiri, pohjavesiaineiston päivitys ja pohjavesisuojausten kuntokartoitus. Tiehallinnon sisäisiä julkaisuja 42. Helsinki. 30 s.

Tiehallinto, Turun tiepiiri. 2009: Pohjaveden laadun seuranta Turun tiepiirin alueella, vuosi 2008. Seurantareportti. Tiehallinto. 314 s.

Tiehallinto, Turun tiepiiri. 2010: Pohjaveden laadun seuranta Turun tiepiirin alueella, vuosi 2009. Seurantareportti. Tiehallinto. 112 s.

Tielaitos ja Suomen ympäristökeskus. 1997: Riskipisterekeristeri. Käyttöohje. 23 s.

Turun vesi- ja ympäristöpiiri. 1990: Euran ja Lapin kuntien pohjavesiselvitys 1990. Tutkimusraportti.

Oy Vesi – Hydro Ab. 1992. Tienpidosta pohjavedelle aiheutuvien haittojen hallinta ja ehkäisy. 296 s. Tielaitos, Turun tiepiiri.

Viskari, E.-L. ja Kärenlampi, L. 2000: Roadside scotss pine as an indicator of deicing salt use – A comparative study from two consecutive winters. *Water, Air and Soil Pollution*. 122: 405 – 419.

Yli-Kuivila, J., Kivimäki, A.-L. ja Kinnunen, T. 1993: Tiesuolaus ja pohjavedet – Nykytilan selvitys. Talvi ja tieliikenne -projekti. Tielaitoksen selvityksiä 49/1993. Liikenteen palveluskeskus. Helsinki. 67 s. + 5 liitettä.

Åström, M. ja Björklund, A. 1995: Impact of acid sulphate soils on stream water geochemistry in western Finland. *Journal of Geochemical Exploration*. 55: 163 – 170.

Nummenpää–Aakoisten pohjavesialueella suoritettujen kairausten tulokset

Taulukko 1. Nummenpää–Aakoisten pohjavesialueella Suunnittelukeskus Oy:n (1981) suorittamien kairausten tuloksen kairauspisteestä 200.

syvyys (m merenpinnan yläpuolella)	maalaji
0,00 – 1,20	Hk
1,20 – 1,80	kiSr
1,80 – 3,60	Sr
3,60 – 13,60	hkSr
e.p.s.	

Taulukko 2. Nummenpää–Aakoisten pohjavesialueella Suunnittelukeskus Oy:n (1981) suorittamien kairausten tuloksen kairauspisteestä 201.

syvyys (m merenpinnan yläpuolella)	maalaji
0,00 – 0,20	Hu
0,20 – 7,80	Sa
7,8 – 15,00	hkSr
e.k.s.	

Harjunummen pohjavesialueella suoritettujen kairausten tulokset

Harjunummen pohjavesialueella suoritettujen lyöntikairausten tulokset on esitetty taulukoissa 1–9 (Turun vesi- ja ympäristöpiiri 1990).

Taulukko 1. Kairauspiste P1.

syvyys (m)	maalaji
0 – 1,0	Sr
1,0 – 2,1	Sr
2,1 – 4,6	kHk
4,6 – 5,3	Sr
5,3 – 5,6	kHk tiivis
5,6 – 6,0	kHk
6,0 – 7,7	Hk
7,7 – 8,1	kHk
8,1 – 8,9	kHk löyhä
8,9 – 10,0	kHk
10,0 – 10,5	kHk tiivis
10,5 – 11,4	Hk tiivis
11,4 – 11,5	HkMr tiivis
11,5	ki tai ka eps.

Taulukko 2. Kairauspiste P2.

syvyys (m)	maalaji
0 – 2,4	Si tiivis
2,4 – 3,5	HHk tiivis
3,5 – 5,8	hHk
5,8 – 6,6	Si tiivis
7,1 – 8,1	Si tiivis
8,1	ki tai <u>ka</u> eps.

Taulukko 3. Kairauspiste P3.

syvyys (m)	maalaji
0 – 2,1	Sr
2,1 – 2,3	kHk
2,3 – 3,0	Sr tiivis
3,0 – 3,7	kHk
3,7 – 5,9	kHk löyhä
5,9 – 6,7	kHk tiivis
6,7 – 7,2	Hk erittäin tiivis
7,2 – 7,6	kHk tiivis
7,6 – 7,8	HkMr
7,8	terä kiilautui eps.

Taulukko 4. Kairauspiste P4.

syvyys (m)	maalaji
0 – 1,0	Si
1,0 – 1,9	hHk löyhä
1,9 – 2,4	hHk
2,4 – 8,5	Hk löyhä
8,5 – 11,5	kHk löyhä
11,5	ki tai ka

Taulukko 5. Kairauspiste P5.

syvyys (m)	maalaji
0 – 5,5	Si
5,5 – 7,5	Hhk
7,5 – 8,5	Si
8,9 – 9,5	Si tiivis
9,5	ki tai ka eps.

Taulukko 6. Kairauspiste P6.

syvyys (m)	maalaji
0 – 4,0	hHk löyhä
4,0 – 4,1	Hk tiivis
4,1 – 4,4	hHk tiivis
4,4 – 5,3	Hk
5,3 – 5,9	hHk löyhä
5,9 – 6,5	hHk
6,5 – 6,7	hHk tiivis
6,7 – 7,2	Hk tiivis
7,2 – 8,0	Hk
8,0 – 9,1	hHk
9,1 – 12,1	Hk
12,1 – 12,5	kHk löyhä
12,5 – 12,6	Sr tiivis
12,6 – 14,0	kHk löyhä eks.

Taulukko 7. Kairauspiste P7.

syvyys (m)	maalaji
0 – 1,7	Sa
1,7 – 3,7	Si löyhä
3,7 – 9,1	hHk löyhä
9,1 – 9,7	Hk löyhä
9,7 – 11,6	hHh löyhä
11,6	ki tai <u>ka</u> eps.

Taulukko 8. Kairauspiste P8.

syvyys (m)	maalaji
0 – 1,0	Sa
1,0 – 1,4	Si
1,4 – 4,9	Si
4,9 – 6,0	hkSi
6,0 – 11,2	hHk
11,2 – 11,8	Hk löyhä
11,8 – 12,5	Hk
12,5	ki tai <u>ka</u> eps.

Taulukko 9. Kairauspiste Pg.

syvyys (m)	maalaji
0 – 3,5	Sa
3,5 – 4,4	Si
4,4 – 6,5	Si tiivis
6,5 – 7,3	hHk
7,3 – 13,7	hHk tiivis
13,7	ki tai <u>ka</u> eps.

STM asetuksissa 461/2000 ja 401/2001 annetut talousveden kemialliset laatuvaatimukset ja -suositukset

Taulukko 1. STM asetuksessa (461/2000) talousveden laatuvaatimuksista ja valvontatutkimuksista suurille yksiköille annetut kemialliset laatuvaatimukset (enimmäispitoisuudet).

	Enimmäispitoisuus	Huomautukset
Akryyliamidi	0,10 µg/l	(1)
Antimoni	5,0 µg/l	
Arseeni	10 µg/l	
Bentseeni	1,0 µg/l	
Bentso(a)pyreeni	0,010 µg/l	
Boori	1,0 mg/l	
Bromaatti	10 µg/l	(2)
Kadmium	5,0 µg/l	
Kromi	50 µg/l	
Kupari	2,0 mg/l	(3)
Syanidit	50 µg/l	
1,2-dikloorietaani	3,0 µg/l	
Epikloorihydriini	0,10 µg/l	(1)
Fluoridi	1,5 mg/l	
Lyijy	10 µg/l	(3)
Elohopea	1,0 µg/l	
Nikkeli	20 µg/l	(3)
Nitraatti (NO ₃ ⁻)	50 mg/l	(4)
Nitraattityppi (NO ₃ -N)	11,0 mg/l	
Nitriitti (NO ₂ ⁻)	0,5 mg/l	(4)
Nitriittityppi (NO ₂ -N)	0,15 mg/l	
Torjunta-aineet	0,10 µg/l	(5 ja 6)
Torjunta-aineet yhteensä	0,50 µg/l	(5)
Polysykliset aromaattiset		
hiilivedyt	0,10 µg/l	(7)
Seleeni	10 µg/l	
Tetrakloorieteeni ja		
trikloorieteeni yhteensä	10 µg/l	
Trihalometaanit		
yhteensä	100 µg/l	(2 ja 8)
Vinyylilokloridi	0,50 µg/l	(1)
Kloorifenolit yhteensä	10 µg/l	(9)

Huomautukset

1) pitoisuus lasketaan käytetystä polymeeristä tuoteselosteen mukaan enimmillään irtoavasta tai liukenevasta määrästä; vedessä todetun aineen raja-arvona sovelletaan havaitsemisrajaa

2) desinfiointitehoa vaarantamatta on pyrittävä mahdollisuuksien mukaan tätä alempaan pitoisuuteen

3) näyte otetaan käyttäjän vesihanasta siten, että pitoisuus vastaa viikoittaista keskiarvoa

4) nitriitin enimmäispitoisuus vesilaitokselta lähtevässä vedessä on 0,10 mg/l; nitraattipitoisuus/50 + nitriittipitoisuus/3 ei saa ylittää arvoa 1

5) tarkoitetut yhdisteet orgaanisia hyönteis-, rikkaruoho-, sieni-, ankerois-, punkki-, levä- ja jyrsijämyrkkyjä, orgaanisia limantorjunta-aineita sekä muita vastaavia tuotteita sekä yhdisteiden metabolia-, hajoamis- ja reaktiotuotteita

6) aldriinin, dieldriinin, heptakloorin ja heptaklooriepoksidin raja-arvo on 0,030 µg/l

7) tarkoitetut yhdisteet bentso(b)fluoranteeni, bentso(k)fluoranteeni, bentso(ghi)peryleeni, indaani-(1,2,3-cd)-pyreeni

8) tarkoitetut yhdisteet kloroformi, bromoformi, dibromikloorimetaani, bromidikloorimetaani

9) tarkoitetut yhdisteet tri-, tetra- ja pentakloorifenoli

Taulukko 2. STM asetuksessa (461/2000) talousveden laatuvaatimuksista ja valvontatutkimuksista suurille yksiköille annetut laatusuosituksen (osoitinmuut-
tujen tavoitteelliset enimmäisarvot).

	Enimmäispitoisuus	Huomautukset
Alumiini	200 µg/l	
Ammonium (NH ₄ ⁺)	0,50 mg/l	
Ammonium (NH ₄ -N)	0,40 mg/l	
Kloridi	250 mg/l	(1,2)
Mangaani	50 µg/l	
Rauta	200 µg/l	
Sulfaatti	250 mg/l	(1,3)
Natrium	200 mg/l	
Hapettuvuus (COD _{Mn} -O ₂)	5,0 mg/l	(4)
	Tavoitetaso	
<i>Clostridium perfringens</i> (mukaanlukien itiöt)	0 pmy/100 ml	(5)
Koliformiset bakteerit	0 pmy/100 ml	
Pesäkkeiden lukumäärä (22 °C)	ei epätavallisia muu- toksia	
pH	6,5 - 9,5	(1)
Sähkönjohtavuus	alle 2 500 µS/cm	(1)
Sameus	käyttäjien hyväksyt- ävissä	(6)
	eikä epätavallisia muutoksia	
Väri	eikä epätavallisia muutoksia	
Haju ja maku	eikä epätavallisia muutoksia	
Orgaanisen hiilen ko- konaismäärä (TOC)	ei epätavallisia muu- toksia	(7)
RADIOAKTIIVISUUS		(8)
Tritium	100 bequerel/l	
Viitteellinen kokonais- annos	0,10 mSv/vuosi	

Huomautukset

1) vesi ei saa olla syövyttävää

2) vesijohtomateriaalien syöpymisen ehkäisemiseksi kloridipitoisuuden tulisi olla **alle 25 mg/l**

3) vesijohtomateriaalien syöpymisen ehkäisemiseksi sulfaattipitoisuuden tulisi olla **alle 150 mg/l**

4) jos mitataan TOC, ei tarvitse välttämättä mitata

5) mitataan, jos raakavesi on pintavettä

6) pintavesilaitokselta lähtevän veden sameudessa tulisi pyrkiä arvoon alle 1 NTU

7) jos on määritetty hapettuvuus ja veden jakelumäärä on alle 10 000 m³/d, ei tarvitse mitata

8) tritiumia ja radioaktiivisuuden viitteellistä kokonaisannosta ei tarvitse mitata, jos aikaisempien tutkimusten (Säteilyturvakeskus) perusteella tiedetään, että näiden arvot ovat selvästi alle muuttujan arvon; mittauksista ja niiden tiheydestä annetaan erilliset määräykset; viitteelliseen kokonaisannokseen ei lasketa radonia eikä radonin hajoamistuotteita, tritiumia eikä kalium 40.

Taulukko 3. STM asetuksessa (401/2001) talousveden laatuvaatimuksista ja valvontatutkimuksista pienille yksiköille annetut kemialliset laatuvaatimukset (enimmäispitoisuudet).

	Enimmäispitoisuus	Huomautukset
Akryyliamidi	0,10 µg/l	(2)
Antimoni	5,0 µg/l	
Arseeni	10 µg/l	(4)
Bentseeni	1,0 µg/l	
Bentso(a)pyreeni	0,010 µg/l	
Boori	1,0 mg/l	
Bromaatti	10 µg/l	(3)
Kadmium	5,0 µg/l	
Kromi	50 µg/l	
Kupari	2,0 mg/l	
Syanidit	50 µg/l	
1,2-dikloorietaani	3,0 µg/l	
Epikloorihydriini	0,10 µg/l	(2)
Fluoridi	1,5 mg/l	(4)
Lyijy	10 µg/l	
Elohopea	1,0 µg/l	
Nikkeli	20 µg/l	
Nitraatti(NO ₃ -)	50 mg/l	(5)
Nitraattityppi(NO ₃ -N)	11,0 mg/l	
Nitriitti(NO ₂ -)	0,5 mg/l	(5)
Nitriittityppi(NO ₂ -N)	0,15 mg/l	
Torjunta-aineet	0,10 µg/l	(6 ja 7)
” yhteensä	0,50 µg/l	(6)
Polysykliset aromaattiset hiilivedyt	0,10 µg/l	(8)
Seleeni	10 µg/l	
Tetrakloorieteeni ja trikloorieteeni yhteensä	10 µg/l	
Trihalometaanit yhteensä	100 µg/l	(3 ja 9)
Vinyylikloridi	0,50 µg/l	(2)
Kloorifenolit yhteensä	10 µg/l	(10)

Huomautukset:

- 1) Escherichia colin tunnistus standardimenetelmässä kuvatussa laajuudessa
- 2) pitoisuus lasketaan käytetystä polymeeristä tuoteselosteen mukaan enimmillään irtoavasta tai liukenevasta määrästä; vedessä todetun aineen raja-arvona sovelletaan havaitsemisrajaa
- 3) desinfiointitehoa vaarantamatta on pyrittävä mahdollisuuksien mukaan tätä alempaan pitoisuuteen
- 4) talousvedelle, jota ei juoda tai joka ei päädy suoraan elintarvikkeeseen tai joka ei suoraan joudu kosketuksiin elintarvikkeiden kanssa elintarvikkeiden valmistuksen, jalostuksen, säilytyksen ja markkinoille saattamisen yhteydessä arseenin laatuvaatimus on alle 20 µg/l ja fluoridin alle 5,0 mg/l
- 5) nitriitin enimmäispitoisuus vesilaitokselta lähtevässä vedessä on 0,10 mg/l; nitraattipitoisuus/50 + nitriittipitoisuus/3 ei saa ylittää arvoa 1
- 6) tarkoitetut yhdisteet orgaanisia hyönteis-, rikkaruoho-, sieni-, ankerois-, punkki-, levä- ja jyrsijämyrkkijä, orgaanisia limantorjunta-aineita sekä muita vastaavia tuotteita sekä yhdisteiden metabolia-, hajoamis- ja reaktiotuotteita
- 7) aldrinin, dieldriinin, heptakloorin ja heptaklooriepoksidin raja-arvo on 0,030 µg/l
- 8) tarkoitetut yhdisteet bentso(b)fluoranteeni, bentso(k)fluoranteeni, bentso(ghi)peryleeni, indaani-(1,2,3-cd)-pyreeni
- 9) tarkoitetut yhdisteet kloroformi, bromoformi, dibromikloorimetaani, bromidikloorimetaani
- 10) tarkoitetut yhdisteet tri- tetra- ja pentakloorifenoli

Taulukko 4. STM asetuksessa (401/2001) talousveden laatuvaatimuksista ja valvontatutkimuksista pienille yksiköille annetut laatusuositukset.

	Enimmäispitoisuus	Yksikkö	Huomautukset
Alumiini	200 µg/l	µg/l	
Ammonium (NH ₄ ⁺)	0,50 mg/l	mg/l	
Ammoniumtyppi (NH ₄ -N)	0,40 mg/l	”	
Kloridi	100 mg/l	”	(1,2)
Mangaani	50 µg/l	µg/l	(3)
Rauta	200 µg/l	”	(3)
Sulfaatti	250 mg/l	mg/l	(1,4)
KmnO ₄ -luku	20 mg/l	mg/l	
CODMn,O ₂	5 mg/l	mg/l	
Koliformiset bakteerit	0 pmy/100 ml	pmy/100 ml	(5)
Radon	300 becquerel/l	becquerel/l	(6)
	Tavoitetaso	Yksikkö	Huomautukset
pH	6,5 - 9,5		(1)
Sähkönjohtavuus	alle 2 500 µS/cm	µS/cm	(1)
Sameus	1,0 NTU	NTU	
Väriluku	5		
Haju ja maku	ei selvää vierasta hajua tai makua		

Huomautukset:

1) vesi ei saa olla syövyttävää

2) vesijohtomateriaalien syöpymisen ehkäisemiseksi kloridipitoisuuden tulisi olla alle 25 mg/l

3) 1 §:n 3 kohdan talousvedelle raudan enimmäispitoisuus on alle 400 µg/l ja mangaanin enimmäispitoisuus alle 100 µg/l

4) vesijohtomateriaalien syöpymisen ehkäisemiseksi sulfaattipitoisuuden tulisi olla alle 150 mg/l

5) 1 §:n 3 kohdan talousvedelle koliformisten bakteerien enimmäispitoisuus on alle 100 pmy/100 ml

6) 1 §:n 3 kohdan talousvedelle radonin enimmäispitoisuus on alle 1000 becquerel/l

Piperin diagrammeissa käytetty suomalainen vertailuaineisto

Taulukko 1. Piperin diagrammeissa vertailuaineistona käytetyt pitoisuudet lähteissä ja rengaskaivoissa sora- ja hiekka- sekä savimuodostumissa (Lahermo et. al. 1990) ja merivedessä (Mason 1966).

	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	Na (mg/l)	K (mg/l)	HCO ₃ (mg/l)	Cl (mg/l)	SO ₄ (mg/l)
lähde (sora ja hiekka)	7,2	2,2	3,6	1,9	27	6	8,1
lähde (savi)	18,1	6,1	10,1	5,2	64	15,8	21,1
rengaskaivo (sora ja hiekka)	17,6	4,2	9,1	7,8	51	15,4	17,3
rengaskaivo (savi)	30,4	10,9	22	8,2	123	25,8	34
merivesi (Mason 1966)	400	1272	15556	380	140	18980	2641

Liik
enne
vira
sto

ISSN-L 1798-6656

ISSN 1798-6664

ISBN 978-952-255-567-0

www.liikennevirasto.fi